

JAIR SEIXAS

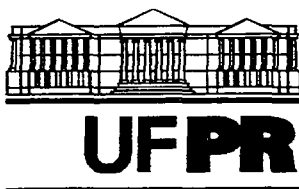
NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO DO SOLO NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*)

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Ph.D. Glaucio Roloff

CURITIBA

2001



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO (MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL (DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

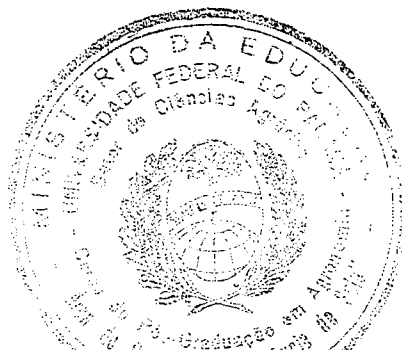
Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **JAIR SEIXAS**, com o título: "**Níveis de compactação do solo na cultura do milho**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**B**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 09 de julho de 2001.


Prof. Dr. Glaucio Roloff, Presidente.


Prof. Dr. Edelclaiton Daros, Iº Examinador.


Prof. Dr. Valmiqui Costa Lima, IIº Examinador.



AGRADECIMENTOS

- Ao amigo Glaucio Roloff pelo incentivo dedicado nas horas de desânimo e fadiga, orientando-me sempre nos afazeres do dia a dia.
- Ao amigo e companheiro Marcos Luiz de Paula Souza que ao longo dos anos de caminhada soube preservar valores de um excelente relacionamento.
- Ao Professor Valmiqui Costa Lima. Juntos criamos uma amizade e respeito acima dos ensinamentos.
- Aos Professores do Departamento de Solos pelo saber transmitido.
- Aos funcionários dos Laboratórios de Física do Solo, Maria Aparecida de Carvalho dos Santos e Elda Nazaré Leite Lubasinski pelo auxílio e orientação nas praticas realizadas.
- Ao companheiro de mestrado Jocelito Buch Castro da Cruz pela ajuda e condução na elaboração do trabalho final de computação e impressão.

E, em especial a minha mulher Silvia Pereira de Melo, companheira de todas as horas, pelo carinho e paciência comigo demonstrada. Soube compreender as minhas deficiências, ajudando-me a superá-las.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	ii
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO.....	viii
Abstract	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 GERAL	4
2.2 ESPECÍFICOS.....	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 A COMPACTAÇÃO E A ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO.....	5
3.2 SISTEMA RADICULAR	7
3.3 A COMPACTAÇÃO DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR.....	9
3.4 A COMPACTAÇÃO DO SOLO E A AGRESSÃO AO MEIO AMBIENTE	11
3.5 A ÁGUA E TEMPERATURA NO SOLO.....	13
3.6 A BIOLOGIA DO SOLO	16
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	18
4.2 CLIMA	18
4.3 SOLOS.....	19
4.4 ANÁLISES FÍSICO – QUÍMICAS	19
4.5 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	20
4.6 TRATAMENTOS	21
4.7 CROQUI DO EXPERIMENTO	22
4.8 PARÂMETROS DETERMINADOS	22
4.8.1 Germinação de sementes	22
4.8.2 Densidade do solo	23

4.8.3 Desenvolvimento vegetativo	23
4.8.4 Colheita do milho	24
4.8.5 Raízes	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1 ESTANDE DE PLANTAS	26
5.2 ESTATURA DAS PLANTAS	28
5.3 RAÍZES	30
5.4 PRODUTIVIDADE	35
6 CONCLUSÕES.....	37
7 RECOMENDAÇÕES	38
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXOS.....	43

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1. Valores médios da análise química por tratamento	20
Quadro 2. Valores médios da análise granulométrica por tratamento	20
Tabela 1A - Média de peso de grãos/espigas por tratamento	44
Quadro 1A - Leituras de alturas das plantas em cm (11-12-99)	44
Quadro 2A - Relação peso líquido x peso de grãos (gramas)	45
Quadro 3A - Resultados das análises físicas dos tratamentos	46
Quadro 4A - Resultados das análises químicas dos tratamentos.....	48
Quadro 5A – Somatório de raízes encontradas nos perfis em profundidade por tratamento	50
Quadro 6A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 1).....	51
Quadro 7A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 2).....	52
Quadro 8A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 3).....	53
Quadro 9A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 4).....	54
Quadro 10A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 5).....	55
Quadro 11A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 6).....	56
Quadro 12A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 7).....	57
Quadro 13A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 8).....	58
Quadro 14A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 9).....	59
Quadro 15A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 10).....	60
Quadro 16A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 11).....	61
Quadro 17A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 12).....	62
Quadro 18A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 13).....	63
Quadro 19A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 14).....	64
Quadro 20A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 15).....	65
Quadro 21A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 16).....	66
Quadro 22A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 17).....	67
Quadro 23A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 18).....	68
Quadro 24A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 19).....	69

Quadro 25A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 20).....	70
Quadro 26A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 21).....	71
Quadro 27A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 22).....	72
Quadro 28A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 23).....	73
Quadro 29A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 24).....	74
Quadro 30A - Precipitação Diária em 1999 para a Região (mm)	75
Quadro 31A - Precipitação Diária em 2000 para a Região (mm)	76
Quadro 32A – Temperatura Mínima Diária em 1999 para a Região (°C)	77
Quadro 33A – Temperatura Mínima Diária em 2000 para a Região (°C)	78
Quadro 34A – Temperatura Máxima Diária em 1999 para a Região (°C).....	79
Quadro 35A – Temperatura Máxima Diária em 2000 para a Região (°C).....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dados meteorológicos para a região durante o desenvolvimento da cultura. Fonte: SIMEPAR.....	19
Figura 2. Densidade do solo seco em três profundidades de amostragem por tratamento. As barras verticais representam a metade do desvio padrão	23
Figura 3 - Estande final de plantas nos tratamentos. As barras verticais representam a metade do desvio padrão	27
Figura 4 - Altura final das plantas nos tratamentos. Tratamentos com as mesmas letras no topo não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 5%.....	28
Figura 5 - Relação espiga por planta nos tratamentos. As barras verticais representam a metade do desvio padrão (não houve diferença estatística significativa)	29
Figura 6 - Densidade de raízes visíveis em profundidade por tratamento	30
Figura 7 - Distribuição média da densidade radicular por tratamento	32
Figura 8 – Média de raízes encontradas nos perfis por tratamento. As barras verticais representam a metade do desvio padrão (não houve diferença estatística significativa).....	33
Figura 9 - Área explorada pelas raízes em diferentes intervalos de distribuição nos perfis. Os números no eixo horizontal representam o limite inferior da faixa. As barras verticais representam a metade do desvio padrão. Tratamentos com as mesmas letras no topo não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey (intervalo 0,15: 8%; intervalo 0,25: 6%)	34
Figura 10 - Produtividade obtida nos tratamentos. Tratamentos com as mesmas letras no topo não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 95%.....	36

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar como a compactação do solo interfere na produtividade da cultura de milho, na sua fenologia e no seu sistema radicular, em um Latossolo Vermelho Típico distroférico sob Plantio Direto na Palha (PDP) na região Sudoeste do Paraná. Para isso foi utilizada uma área comercial no terceiro ano de PDP. A superfície do solo utilizado foi manipulada para atingir quatro níveis de compactação: (1) tráfego de colheitadeira carregada com peso de 12000 kg; (2) tráfego de um trator agrícola com peso de 4000 kg; (3) descompactação com subsolador de 4 ferros a 40 cm; (4) e uma parcela testemunha. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com seis repetições. Durante a safra foram avaliados: estande, estatura, taxa de crescimento e produtividade. Foi também avaliada a densidade radicular em perfis abertos até 1,0 m de profundidade. Colhidos e analisados os dados, observou-se que: (1) os tratamentos que sofreram tráfego adicional da colheitadeira e do trator apresentaram uma compactação do solo prejudicial demonstrada pela menor produtividade obtida; (2) os tratamentos que não sofreram compressão do solo, caso do uso do subsolador e da testemunha, apresentaram as maiores produtividades, e também apresentaram um melhor estande de plantas, maior altura de plantas, maior densidade de raízes e sua distribuição no perfil do solo mais homogênea e uma maior proporção espiga/planta. Conclui-se que houveram efeitos negativos da compactação do solo somente nos tratamentos que sofreram a compactação.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine how soil compaction affects corn yield, on crop and root growth, in a distroferic Typical Red Latossol under No-tillage (NT) in the Southwestern Region of Parana State. The experiment was conducted on a commercial field with three years of NT. The soil surface was treated to reach four compaction levels: (1) traffic with a loaded (12000 kg) harvester, (2) traffic with a tractor (4000 kg), (3) subsoiling to 40 cm with a four-shank subsoiler, and (4) no treatment. The experimental design was completely randomized blocks with six replications, for a total of 24 plots. The following crop attributes were monitored over the crop season: stand, height, and grain yield. Root density was also determined on 1,0 m-deep pits. Analysis of the data indicated that (1) treatments that involved additional compression by the harvester and tractor resulted in detrimental compaction as assessed by the lower yields; (2) treatments without additional compression resulted not only in higher yields but also in greater crop stand, greater vegetative growth, greater root density, more homogeneous root distribution, and greater number of heads per plant. It was concluded there were negative effects of the soil compaction only for the treatments that received additional compression.

1 INTRODUÇÃO

A ocupação dos solos no Brasil ocorreu sem nenhuma preocupação com a sua preservação física, química e biológica. Os estrangeiros que aqui aportaram trouxeram consigo a tecnologia de suas origens, principalmente os europeus. Não levaram em consideração o clima que encontraram. Acostumados ao frio, onde as épocas de plantio são curtas, necessitando portanto de um rápido aquecimento do solo, faziam o revolvimento por meio da aração e gradagem, invertendo as camadas do solo, expondo-as ao calor solar.

Aqui, este procedimento desgasta rapidamente o solo pela oxidação e conseqüente redução nos teores da matéria orgânica influenciadas pelo clima tropical ou subtropical predominante, com temperatura e precipitação próximas das ideais para a decomposição da matéria orgânica. Décadas se passaram e a fertilidade natural dos solos brasileiros foi diminuindo por este uso inadequado. Paralelamente, as taxas de erosão aumentaram em graus de magnitude devido aos períodos sem proteção da cultura contra o impacto direto das gotas, à compactação que causa altas taxas de enxurrada e a baixa resistência mecânica do solo induzido pelo preparo intensivo e pela redução nas taxas de matéria orgânica. Estas altas taxas de erosão têm, até hoje, importante contribuição para a degradação ambiental. Implantou-se um sistema de agricultura dependente da mecanização agrícola, que causa mazelas profundas quando não tecnicamente aplicada. O uso de máquinas e implementos agrícolas de forma inadequada contribui para perdas por erosão, chegando em casos extremos a fazer com que grandes áreas agrícolas ficassem inutilizadas para a agricultura. As diferentes intensidades de revolvimento do solo refletem em suas propriedades e processos, notadamente na compactação. A degradação dos solos limita a sustentabilidade da agricultura afetando a qualidade de vida do agricultor. O problema é mais grave em áreas mais íngremes, em regiões com altas precipitações e em solos rasos.

Na década de 70, na região de Ponta Grossa e Londrina, teve início um trabalho baseado em experiências desenvolvidas na Europa e nos EUA de proteção ao solo, com plantio direto na palha. O sistema de plantio direto – SPD – enfocado como um sistema de exploração agropecuário que envolve diversificação da espécie via rotação de culturas, mobilização de solo apenas na linha de semeadura e manutenção dos resíduos vegetais das culturas anteriores em sua superfície, é um complexo de tecnologias de processo, de produtos e de serviços que submete o agroecossistema a um menor grau de perturbação e desordem, quando comparado a outras formas de manejo que empregam mobilização intensa do solo, DENARDIN (1990). Isso é justificado pelo fato de que esse complexo de tecnologias demanda menor força de trabalho e de energia fóssil, estimula os processos de floculação e de agregação, reduz a velocidade de mineralização da matéria orgânica, minimiza a erosão, favorece o controle biológico de pragas, de doenças e de plantas daninhas, prevenindo o uso de agroquímicos, diminuindo o seu uso. Portanto, o sistema de plantio direto potencializa a obtenção do equilíbrio dinâmico do agroecossistema, tendendo a produção mínima de entropia, disciplina os fluxos de entrada e de saída do sistema, economizando energia e conservando o potencial biológico, reservando-lhe maior capacidade de reorganização.

Sob este conceito, o sistema de plantio direto comporta-se como um meio para a expressão do potencial genético das espécies cultivadas, mediante a maximização do fator clima e do fator solo e a minimização da degradação dos recursos naturais, atuando como um mecanismo de transformação, de reorganização e de sustentação do agronegócio.

Os estudos comparativos de diferentes métodos de preparo do solo desenvolvidos por DERPSCH et al.(1991) relataram que os diversos métodos que empregaram levaram a uma compactação do Latossolo Vermelho Distroférrico Típico. Foi verificado que sob o plantio direto as maiores densidades situaram-se em profundidade de 0 a 20 cm, e sob o preparo convencional apareceu a compactação de “pé de arado” entre 20 a 30 cm. Os valores máximos encontrados, após sete anos de preparos diferenciados foram de 1,16 Mg/m³ para o plantio direto e de 1,11 Mg/m³ para o preparo convencional. Com

densidades inferiores a $1,20 \text{ Mg/m}^3$, problemas de enraizamento ou aeração não são prováveis de aparecerem. Somente com densidades superiores a $1,25 \text{ Mg/m}^3$ é possível haver dificuldades no crescimento das raízes. A maior densidade de camada superficial obtida no plantio direto é responsável por uma maior retenção de água devido ao aumento na proporção de poros menores, sendo por isso até favorável este aumento de densidade, RIESEMBERG (1994). Por outro lado, SIDIRAS E VIEIRA (1984) demonstraram que as culturas do trigo, da soja e do nabo forrageiro se desenvolveram melhor e com maior rendimento nos sulcos compactados pela passagem das rodas do trator durante o plantio. Supõem-se que este fato é devido a melhor condução de água em solos mais compactados.

No ano agrícola 1999/2000 foram plantados no Brasil 11,2 milhões de hectares de terra com este sistema de plantio direto na palha. O Paraná tem 7 milhões de hectares de áreas agricultáveis, sendo que 4,4 milhões foram cobertos com o plantio direto na palha (PDP), com as culturas de soja e milho no verão, em rotação com o trigo, a aveia, o centeio, o nabo, pastagens anuais e leguminosas no inverno, no ano agrícola de 1999/2000, CAMPO E LAVOURA (julho/2000). O plantio direto é um sistema consolidado nas regiões de adoção, porém em outras ainda está em evolução. A melhoria do grau tecnológico e econômico advirá da resolução de novos problemas que surgirão, nas diferentes condições em que ele for implantado.

Entre os problemas detectados pelos técnicos que trabalham diretamente ligados a conservação de solos, IAPAR, EMBRAPA, EMATER, UFPR e agricultores, a compactação do solo continua a preocupar. A diminuição da macroporosidade e porosidade total, aumento de densidade e maior resistência à penetração de raízes são alguns efeitos da compactação, sendo um processo de densificação na qual há um aumento da resistência do solo, redução da porosidade, permeabilidade, diminuição da disponibilidade de nutrientes e água, que resulta de cargas aplicadas ao solo. Como consequência favorece a formação de processos erosivos, com a degradação física, química e biológica, principalmente se houver transporte de palhada pela enxurrada.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O presente trabalho visa investigar a relação entre a compactação do solo, a produtividade na lavoura e a fenologia da cultura sob plantio direto na palha (PDP) em condições normais de campo.

2.2 ESPECÍFICOS

- (1) Correlacionar a produtividade do milho com diferentes graus de compactação.
- (2) Avaliar o efeito dos diferentes graus de compactação sobre o desenvolvimento do sistema radicular, com relação ao número total de raízes e a sua densidade
- (3) Avaliar a população de plantas.
- (4) Caracterizar o desenvolvimento vegetativo em relação a sua fenologia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A COMPACTAÇÃO E A ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO

Sistemas de manejo conservacionista envolvem aspectos de preparo de solo, rotação de culturas, manejo de culturas, de resíduos culturais e de fertilidade do solo. Entre os sistemas de manejos de solo praticados no sul do Brasil, o plantio direto se destaca como o mais conservacionista por minimizar a mobilização do solo e o fracionamento de agregados, por manter os resíduos culturais na superfície do solo e por requerer, como fundamento, à rotação de culturas. Esta rotação consiste na alternância de espécies vegetais na mesma área e na mesma estação estival, observando-se um período mínimo sem o cultivo da mesma espécie. Portanto, diversificar as culturas de uma mesma propriedade em um mesmo programa de rotação torna-se uma necessidade obrigatória. Com a organização sequencial das espécies em épocas adequadas a cada uma, de acordo com a região, pode-se minimizar problemas de infestação de pragas, plantas daninhas, doenças, os custos operacionais, diminuindo assim eventuais prejuízos, próprios da monocultura. Além de que, a fertilidade natural do solo pode ser melhorada como resultado de um equilíbrio mais elevado para a vida microbiana.

No sistema de plantio direto o revolvimento é restrito a linha de semeadura, mas o tráfego ocorre normalmente, pois as máquinas de plantio, semeadoras-adubadoras, o trator agrícola e a colheitadeira necessitam trafegar sobre o solo. Apesar deste estar protegido por uma capa de resíduos vegetais, pode-se esperar um aumento na compactação do solo, principalmente na camada superficial. Como consequência, pode haver a excessiva impedância mecânica e a erosão do solo, com a redução da produtividade da área considerada, VOORHEES (1983), juntamente com a reduzida disponibilidade de água ofertada a cultura. Isto pode explicar as situações em que baixas produtividades estão relacionadas com sistemas de mobilização mínima do solo.

Ademais, BAVER E GADNER (1973) definem compactação como sendo um comportamento dinâmico do solo pelo qual o estado de compactação aumenta. Já BRADFORD e GUPTA (1976), definem compactação como sendo o processo que causa alteração do volume do solo pela aplicação momentânea de carga sobre ele. O adensamento do solo é definido por BAVER e GADNER (1973) como sendo a redução do volume específico aparente (razão de vazios) em um solo causado por trabalho mecânico. A razão de vazios diminui quando a umidade aumenta para uma mesma carga aplicada. O adensamento portanto, é uma mudança estrutural associada à consistência do solo.

O termo compressão é definido por ROLOFF (1986) como sendo a redução do volume do solo causado por uma carga externa, ocorrendo primeiramente devido à exclusão de ar e água dos espaços porosos e ao arranjo das partículas do solo e secundariamente devido à compressão do ar e da água nos poros. O manejo do solo afeta a sua estrutura de uma maneira progressiva. Por isso que anos seguidos de um preparo convencional faz com que haja sintomas de compactação nítidos, que são causados pelo passar do arado e da grade numa mesma profundidade (até 25 cm), conhecidos como pé de arado e pé de grade, que não remove os efeitos da compactação pelo tráfego na superfície. Esta formação de uma estrutura menos permeável faz com que ocorra um excesso de água acima dela, a qual escorre superficial e subsuperficialmente, aumentando a magnitude dos processos erosivos.

Com a modernização da agricultura tem aumentado o peso das máquinas e equipamentos e a intensidade do uso do solo. Este aumento da massa dos tratores e colheitadeiras não foi acompanhado por um aumento proporcional do tamanho e largura dos pneus e os riscos de compactação aumentaram. A compactação subsuperficial é uma função da carga total por eixo e a compactação superficial é uma função da pressão de ar dos pneus, HAKANSSON e VORHEES (1996).

Vários autores citados por THOMPSON et al. (1987), segundo TORMENA (1991), têm suportado o conceito de um valor crítico de densidade do solo na qual o

crescimento de raízes é prejudicado, defendendo-a como o melhor parâmetro físico que caracteriza o crescimento de raízes em solos compactados. Outros pesquisadores sugerem que a densidade do solo não é o mais importante fator que limita o crescimento radicular, mas sim a resistência do solo, a qual pode ser determinada por um penetrômetro que reflete a resistência imposta pelo solo à penetração das raízes.

A compactação também interfere no volume, diâmetro e arquitetura dos poros. Por conseguinte, processos de fluxo no solo são afetados. CINTRA (1980) em experimento a campo observou que a taxa de infiltração de água ao final de duas horas foi severamente afetada pelo cultivo. No solo sob mata, observou uma taxa final de infiltração de 314 mm/h, sendo que aquela sob cultivo de preparo convencional foi de apenas 6 mm/h. Este fato deve-se, segundo o autor, ao volume de macroporos na camada de 0 a 15 cm, que no solo de mata é duas vezes maior que no solo cultivado e uma redução muito maior (chegando a cinco vezes) na profundidade de 15 a 30 cm. Além disso, a diminuição da macroporosidade afeta o desenvolvimento das plantas por imprimir ao solo condições de baixa aeração, já que macroporosidade abaixo de 10% afeta a transferência de oxigênio às plantas, pela debilitação das raízes ou sua não perfeita formação. De acordo com BELTRAME et al (1981), 10% é o limite inferior para que ocorra troca de gases entre o solo e a atmosfera, acarretando um mau suprimento de oxigênio, que associado a maior resistência à penetração causa a redução do sistema radicular, refletindo-se em maior sensibilidade das plantas as pequenas estiagens e mau aproveitamento de fertilizantes.

Portanto, compactação pode ser entendida como sendo uma propriedade complexa do solo quando interações químicas, biológicas, climáticas, práticas agronômicas e tipo de cultivo, interagem, resultando no adensamento ou formação de uma camada endurecida que irá interferir no desenvolvimento normal de uma planta.

3.2 SISTEMA RADICULAR

As raízes representam um importante componente funcional e estrutural da planta. No entanto pouco se sabe a respeito de suas características de desenvolvimento, bem

como de suas atividades fisiológicas. As razões para este fato podem ser atribuídas às dificuldades inerentes à sua manipulação e também devido ao fato de o sistema radicular não representar o produto final da colheita em espécies que se reproduzem por sementes aéreas, a qual corresponde a maioria das espécies de valor econômico. Normalmente as raízes representam o ponto de sustentação da planta ao meio ambiente, fixando-a ao solo e fazendo a absorção de água e sais minerais que irão constituir-se nos elementos de desenvolvimento vegetativo.

Sendo o sistema radicular o órgão de absorção por excelência da planta, sua disposição uniforme no perfil do solo e a quantidade de raízes que o constitui, torna-se de fundamental importância para as funções que irá realizar. Quando crescem de forma retorcida, indicam que encontraram uma estrutura com resistência maior à sua capacidade de penetração, diminuem ou param o desenvolvimento vegetativo no plano vertical e estabilizam-se no plano horizontal. Consequentemente, diminuem em número e tamanho e ficam prejudicadas na absorção de água, nutrientes e na troca gasosa com o ambiente, induzindo assim a uma possível queda de produtividade.

A extremidade das raízes em crescimento exerce pressão sobre o solo e com isso, muitas vezes, pode ultrapassar poros de diâmetro menor que o seu próprio e como ela é sensível a baixa pressão de resistência do solo, pode recurvar-se e se desenvolver horizontalmente até encontrar camadas com poros de menor resistência e, assim desenvolver-se novamente na vertical, distribuindo-se no perfil do solo. O crescimento radicular pode ser diminuído ou inexistir quando a pressão hidrostática de suas células não for capaz de vencer a resistência oferecida pelas camadas adensadas do solo. A habilidade das raízes em transpor camadas com indícios de compactação varia entre as espécies. Em solos compactados, além de terem a taxa de crescimento afetada, as raízes podem ter seu formato modificado, tornando-se mais grossas ou achatadas.

3.3 A COMPACTAÇÃO DO SOLO E O DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR

A estrutura do solo sendo diretamente influenciada pelo manejo faz com que o desenvolvimento vegetativo fique condicionado a este. O sistema radicular será um fator preponderante na produção futura de plantas, pois é por ele que acontece a absorção dos elementos químicos, responsáveis pela sua estrutura e principalmente da água. No solo isto requer uma alta densidade de raízes próximas à superfície onde as concentrações de grande parte dos nutrientes são maiores; sendo que pelo menos uma raiz por planta, penetrando em profundidade no subsolo, irá extrair a água armazenada, DEXTER (1988).

Solos que apresentam camadas com impedimentos ao crescimento radicular podem distorcer as densidades radiculares normais. Em muitas culturas estas densidades são exponenciais, com valores máximos na superfície em torno de 10 cm de raízes/cm³ de solo para cereais. No subsolo próximo de 1 metro de profundidade estas densidades radiculares podem ser somente de 1 cm/cm³ ou menos, DEXTER (1988). A compactação do solo tende a aumentar a densidade radicular na superfície do solo pelo aumento da emissão de raízes laterais e a diminuir a profundidade de enraizamento no perfil, CINTRA (1983); SILVA et al (1980).

Sendo o sistema radicular o órgão de absorção por excelência da planta, sua disposição no perfil do solo e a quantidade de raízes que o constitui, torna-se de fundamental importância para as funções que irá realizar. As raízes devem ser bem distribuídas no perfil do solo. Quando crescem de forma retorcida indicam que encontraram uma estrutura com resistência maior que a sua capacidade de penetração. Diminuem ou param o desenvolvimento vegetativo no plano vertical e estabilizam-se no plano horizontal. Consequentemente, diminuem em número e tamanho e ficam prejudicadas na absorção de água, nutrientes e na troca gasosa com o ambiente, induzindo assim a uma possível queda de produtividade.

Para desenvolver tal sistema radicular a planta deve explorar os poros existentes no solo, de tamanho adequado, ou deve fazer novos poros vencendo a resistência do solo e deslocando a ponta da raiz para frente, através do aumento da pressão de crescimento. As pontas das raízes geralmente são incapazes de entrarem em poros rígidos, menores do que seu diâmetro, WIERSUM (1957). Entretanto, se o solo for deformável, as raízes devem ser capazes de alargar os poros existentes, enquanto que ainda absorvam água e nutrientes. As raízes capilares (normalmente com 10 μm de diâmetro) importantes na absorção de nutrientes são consideradas incapazes de formarem os seus próprios poros, requerendo assim poros pré-existent iguais ou maiores do que elas próprias, DEXTER (1988).

O impedimento mecânico normalmente causa um aumento no diâmetro de raízes. Restrição mecânica dos eixos principais de raízes causa uma considerável proliferação de raízes laterais finas, desde que os poros sejam grandes o suficiente para recebê-las, TAYLOR (1976). RUSSEL e GROSS (1974) analisando a interação entre o impedimento mecânico e o suprimento de oxigênio em raízes de milho em um ambiente (meio artificial) submetida a uma pressão de 0,15 MPa, verificou que a elongação das raízes cessa quando a concentração de oxigênio foi reduzida a 1%. BARLEY (1962) verificou que o efeito combinado do impedimento mecânico e do déficit do oxigênio em um meio artificial foi mais adverso do que os efeitos produzidos por estes fatores atuando isoladamente. Um aumento da resistência ao crescimento radicular de zero para 0,05 MPa reduziu em aproximadamente 31% a taxa de crescimento das raízes quando a concentração de oxigênio foi de 20% e quando a concentração de oxigênio foi de 5% a taxa de crescimento foi reduzida de 50%.

As raízes são órgãos flexíveis que seguem os caminhos de menor resistência no solo, explorando os planos de fraqueza entre suas unidades estruturais, BENGHOUCH e MULLINS (1990). Elas excretam mucilagens ao redor de suas extremidades e expandem os poros quando fisicamente impedidas. Quando a raiz encontra resistência

mecânica ao seu crescimento, a força de crescimento radicular aumenta devido à elevação da pressão osmótica nas suas células de crescimento, TAYLOR e RATLIFF (1969).

O aumento na resistência do solo traz como consequência efeitos sobre o crescimento radicular, principalmente sob condições climáticas adversas. A compactação excessiva do solo pelo tráfego e sua persistência quando há ausência de preparo, reduz drasticamente a proliferação de raízes no solo, principalmente em sistemas de preparo mínimo e direto, NESMITH et al (1987). Nestes, as forças naturais têm pouco efeito na recuperação da estrutura do solo, VOORHEES (1983), devido ao adensamento que o solo atinge com a ausência do revolvimento.

De maneira geral, o efeito marcante da resistência do solo sobre o crescimento radicular ocorre quando os outros fatores de crescimento estão em níveis satisfatórios, propiciando à planta um desenvolvimento vegetativo equilibrado e uma reprodução satisfatória.

3.4 A COMPACTAÇÃO DO SOLO E A AGRESSÃO AO MEIO AMBIENTE

Os mais relevantes problemas de agressão ao ecossistema começam a surgir sob a pressão da necessidade de desenvolvimento indiscriminado, consolidado através da transferência e imposição de tecnologias agrícolas padronizadas, desconsiderando-se as características ambientais, sociais e culturais específicas a cada região. A tecnologia agrária, assim como aquela destinada à manipulação de recursos biológicos naturais, está decisivamente subordinada aos fatores locais. Um dos problemas fundamentais inerentes à física dos solos nas zonas tropicais surge da necessidade da retirada da cobertura protetora mantida pela vegetação natural, para a implantação de atividades econômicas, principalmente de natureza extrativa (essência nativa, ecótipos e minérios).

Nos trópicos geralmente a estrutura do solo se deteriora com o cultivo, como foi comprovado por GROHMANN (1960), citado por RIESEMBERG (1994). Tais resultados mostram que o uso do solo reduziu a percentagem de agregados maiores que 2

mm para aproximadamente à metade nos solos estudados. Conseqüentemente, constatou-se um acentuado aumento nos agregados menores que seriam responsáveis pela obstrução de poros e pela diminuição da infiltração de água através do processo denominado de selamento superficial. Outros pesquisadores como GROHMANN e ARRUDA (1961), também observaram redução dos agregados após alguns anos de cultivo, redução esta proporcional à intensidade de uso do solo. Ainda, a agregação é insuficiente pelo manejo dos resíduos das culturas, sendo seus benefícios mais evidentes quando mantidos como cobertura sobre o solo.

Os resíduos de culturas (resteva) não devem ser confundidos com a matéria orgânica estabilizada, conforme apresentados nos resultados de análise de solo como carbono (%), visto que os resíduos vegetais além de constituírem fontes de nutrientes são passíveis de manejo. Para DROSDOFF (1975), a resteva pode atuar das seguintes formas: como cobertura protetora da superfície, impedindo a deterioração de sua estrutura resultante dos efeitos das chuvas; como proteção contra as mudanças bruscas de temperatura na superfície; como fornecedor e regulador das necessidades de substâncias nutritivas (na decomposição, os elementos minerais contidos nos resíduos podem ser liberados e assimilados). O fenômeno da compactação poderá ser acentuadamente desfavorável para os solos tropicais, uma vez que a estrutura satisfatória e perfis mais profundos podem ser compensatórios para a maior pobreza em nutrientes desses solos. Assim, seu manejo de modo a proporcionar mais volume de exploração pelo sistema radicular das culturas, inclusive a melhoria da qualidade química em subsuperfície, são aspectos fundamentais para a agricultura tropical. Entretanto, quando se pratica a agricultura torna-se muito difícil a eliminação de pressões sobre o solo. Recomenda-se a adoção de práticas que minimizem tais pressões como a presença de resíduos na superfície. Essa cobertura também servirá para a dissipação da energia das chuvas. Outro aspecto relacionado com a presença de resíduos refere-se à diminuição na velocidade e no volume de escoamento de águas pluviais, com conseqüente aumento no seu armazenamento, além de reduzir as perdas de solo pela erosão, como resultado do

aumento da rugosidade superficial. Deve-se salientar que outros fatores do ambiente encontram-se envolvidos no processo podendo, desta feita, evidenciar variações de comportamento. Portanto, o pleno conhecimento desses fatores apresenta grande importância para o estabelecimento de estratégias de forma a obter os melhores resultados na conservação dos recursos naturais solo e água.

3.5 A ÁGUA E TEMPERATURA NO SOLO

De acordo com ROTH e VIEIRA (1983), o tipo de solo, as características da chuva (energia cinética, duração, intensidade e quantidade), e a umidade do solo precedente à precipitação, são parâmetros não afetados pelo manejo. No entanto, outros como a estrutura e o encrostamento superficial podem e devem ser manipulados com o objetivo de obter maiores taxas de infiltração. Para os referidos autores, quando se emprega prática de revolvimento excessivo do solo, buscando uma condição favorável à semeadura, pode-se destruir em maior ou menor grau (função do tipo de solo) a sua estrutura, diminuindo-se sensivelmente o tamanho dos agregados. Com isso, constata-se a formação de camadas de menor permeabilidade no perfil, afetando a infiltração e auxiliando o processo erosivo do solo.

Em relação à conservação da água, dentre todas as causas que concorrem para o dessecamento do solo, a evaporação direta é a mais importante, GODOY (1976). Assim, todos os esforços devem ser dirigidos no sentido de reduzir ao mínimo as perdas por esse processo, adotando-se para tanto práticas de natureza diversas, como por exemplo, a presença de resíduos culturais sobre o solo. A disponibilidade de água no solo é maior no SISTEMA DE PLANTIO DIRETO (SPD) comparada ao sistema de plantio convencional devido ao não revolvimento aliado à cobertura morta que, depositada sobre a superfície, atua como dissipadora de energia protegendo o solo do impacto causado pela chuva e evitando o processo de selamento superficial pela obstrução dos poros, aumentando a infiltração da água. Quanto maior o grau de selamento ou encrostamento da superfície do

solo, maior é a obstrução parcial de seus poros, o que implica em menores taxas de infiltração de água. A cobertura morta reduz a evaporação da água do solo, pela diminuição da temperatura, elevando a disponibilidade hídrica.

O selamento superficial é o fator que define a taxa de infiltração de água no solo. Ele normalmente ocorre em áreas sem cobertura de palha e de plantas. No SPD em função do não revolvimento do solo e após os primeiros anos de implantação, pode ocorrer um aumento da densidade na camada superficial diminuindo a porosidade, o que implica em menores taxas de permeabilidade. Mas se o sistema for corretamente manejado, com boa cobertura morta e adequada rotação de culturas haverá boa estrutura do solo, com canais que permitem adequado fluxo e taxa de infiltração de água.

A habilidade da planta em explorar água e nutrientes contidos em um horizonte do solo depende da concentração de raízes neste horizonte que, por sua vez, depende das condições químicas e físicas deste horizonte. A estrutura porosa do solo determina o seu armazenamento de água e a quantidade desta disponível para a planta.

O sistema radicular fica desenvolvido nas primeiras camadas do perfil ou nele penetra mais profundamente dependendo da disponibilidade de água e, conseqüentemente, de nutrientes ofertados. A maior ou menor umidade do solo pode, ocasionalmente, reduzir ou aumentar a aeração do solo, resultando na quantidade de raízes, BARBER (1971) e, as raízes desenvolvem-se em profundidade se a condição física do solo for restritiva e somente quando a condição química permitir.

Não havendo, pois, condições químicas adequadas ao desenvolvimento do sistema radicular, as raízes exploram maior volume de solo, podendo apresentar estresse com períodos prolongados de falta de umidade, comprometendo a produtividade da cultura. MARSHALL e HOLMES (1979) observaram que um sistema radicular bem distribuído, profundo, faz com que a planta seja menos vulnerável aos períodos de estiagem e leva a um melhor aproveitamento da água e nutrientes disponíveis no perfil do solo. Quando a camada superior do solo seca, a taxa de crescimento radicular aumenta para maiores profundidades, para camadas mais úmidas. Em experimentos conduzidos por HAMBLIN

(1982), os solos preparados pelo sistema convencional drenam mais rapidamente, apresentando maior condutividade hidráulica saturada do que solos sob plantio direto. Estes, retêm mais água disponível para as plantas e mantêm condutividades hidráulicas insaturadas mais altas.

HILL et al. (1985) observaram que o plantio direto requer de três a quatro anos para apresentar uma porosidade mais favorável na camada de 0 a 15 cm, quando comparado com o preparo convencional, caso típico deste solo em estudo. A camada superficial do solo sob plantio direto apresenta maior compactação confinada aos primeiros 10 a 15 cm, quando comparada às demais camadas em profundidade, devido ao não revolvimento e uso de máquinas pesadas intensamente sobre o solo, GERIK et al. (1987), OLIVEIRA et al. (1990). Desta forma é justificada a menor capacidade de água prontamente disponível na camada de 0 a 20 cm, quando comparada à camada de 20 a 40 cm, tanto para a cultura do milho como para a da soja, CANALLI (1993). A camada superficial apresentou maior microporosidade e maior densidade do solo, as quais diminuíram com a profundidade e, menor porosidade total e de aeração, ambas aumentando com a profundidade, evidência esta pesquisadora em seus trabalhos.

Outro fator importante na agricultura é a temperatura do solo, a qual assume elevada relevância nos trópicos devido à intensidade das radiações solares que chegam à superfície terrestre, durante todas as estações do ano. Embora este componente do clima seja afetado por inúmeros fatores como: radiação solar; propriedades físicas; conteúdo de água no perfil e condutibilidade térmica, é a presença de resíduos na superfície aquele que poderá influenciar substancialmente nas amplitudes diárias observadas. Tal efeito é relatado por LAL (1974), que constatou em clima tropical temperaturas diárias máximas de 41° C para sistema sem cobertura residual e apenas 32° C para sistema com cobertura residual, não sendo as mínimas significativamente diferenciadas em função dos sistemas adotados, apresentando respectivamente, valores correspondentes a 26,0° C e 26,5° C.

A temperatura do solo é fundamental para o crescimento e o desenvolvimento do vegetal. Ela afeta a germinação das sementes, o desenvolvimento das raízes e da parte

aérea, a atividade dos microorganismos do solo, a difusão de solutos e dos gases e os mais diversos processos e reações biológicas. O SPD melhora as atividades bioquímicas dos microorganismos do solo favorecendo o crescimento e o desenvolvimento das plantas pelo equilíbrio físico, químico e biológico.

3.6 A BIOLOGIA DO SOLO

O solo é uma mistura complexa de materiais inorgânicos, rochas e minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos, sendo estes representados pela microfauna, mesofauna e macrofauna. A riqueza e a diversidade desses organismos são tão grandes que, em apenas 1 cm³ de solo sob pastagem podem ser encontrados milhões de bactérias, milhares de protozoários, centenas de metros de hifas de fungos, centenas de fungos e insetos. A microfauna, que é composta de bactérias, fungos, algas, protozoários e vírus, participa principalmente dos processos de decomposição da matéria orgânica e da reciclagem de nutrientes. A mesofauna é composta de nematóides, ácaros e colêmbolas. A macrofauna, constituída por organismos maiores, como as oligoquetas (minhocas), insetos, miriápodes e aracnídeos, traz como benefícios, através de movimentação mecânica do solo, o aumento da aeração e a redistribuição dos nutrientes, incrementando o teor de matéria orgânica no perfil do solo.

Com a retirada da cobertura vegetal original do solo para o uso agrícola, através de derrubadas da floresta, das queimas seguidas, ocorrem alterações em suas propriedades físicas, químicas e biológicas pela eliminação da massa vegetal que o protegia e a perda da matéria orgânica. Surge aí, o depauperamento do solo. O emprego continuado do preparo convencional, pelas araões e gradagens sucessivas faz com que este solo não tenha condições para uma possível regeneração e o empobrecimento torna-se inevitável. Entretanto, quando acontece uma mudança de manejo do solo pelo uso do sistema de plantio direto, sua biologia muda completamente. A massa orgânica devolvida pelos restos de cultura sofre o processo de decomposição e a percentagem de matéria orgânica

aumenta consideravelmente com o passar dos anos, pelo desenvolvimento dos organismos, aumentando o número de indivíduos de todas as espécies pela indução do equilíbrio biodinâmico. Observa-se que neste processo, embora a biomassa microbiana aumente, o SPD promove a diminuição no quociente metabólico (quantidade de carbono liberado por unidade de biomassa), o que pode resultar em menor perda de carbono no solo. Isto pode ocorrer devido às alterações nos padrões metabólicos ou na composição da microbiota, o que constitui em fator positivo; com mais carbono incorporado ao ambiente reduz-se o impacto sobre o clima, medido pelo efeito estufa.

No SPD a população microbiana do solo desempenha um papel fundamental na fertilidade, aqui entendida como a capacidade ou habilidade deste solo em propiciar as condições ideais necessárias e suficientes ao perfeito desenvolvimento das plantas. Os microorganismos atuam na decomposição e mineralização da matéria orgânica e na reciclagem dos nutrientes. Além de que, influenciam nas propriedades físicas do solo. Agindo quimicamente por meio da produção de substâncias cimentantes (polissacarídeos) ou atuando como ligantes como as hifas fúngicas, melhoram a qualidade dos agregados aumentando a agregação e o seu número, sua porosidade e sua estabilidade. A biodinâmica dos microorganismos do solo é aumentada, melhorando a aeração, a retenção e a disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas e conseqüentemente, o aumento da produtividade, KIEHL, (1979).

A matéria orgânica atua como depósito para os nutrientes, aumentando a atividade química e biológica do solo e reduz o efeito da compactação. Ajuda a construir uma estrutura melhor, aumenta a infiltração e a retenção de água. Desempenha o efeito “tampão” contra as rápidas mudanças do pH e outros processos químicos. Serve como fonte de energia primária para os microorganismos do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado e desenvolvido na Unidade Descentralizada de Dois Vizinhos, município de Dois Vizinhos-Pr, UNED da Escola Agrotécnica Federal de Rio do Sul-SC, região Sudoeste, situado no Terceiro Planalto Paranaense, região com predomínio de solos latossolos, nitossolos, organossolos, cambissolos e argissolos, dentro das coordenadas geográficas de 25°, 44', 35" de latitude sul e 53°, 4', 30" W-GR de longitude, a 520 metros de altitude ao nível do mar e a 485 Km da Capital, Curitiba.

Foi escolhida uma área com 32 ha. Sua topografia é levemente ondulada com declividade de 4 a 6%. Possui um sistema de terraceamento para a proteção contra os efeitos da enxurrada. Dentro desta área foi escolhido o local do experimento, entre dois terraços e lateralmente, frente e fundo foi plantada a cultura do milho.

4.2 CLIMA

O município de Dois Vizinhos apresenta um clima do tipo Cfb de transição subtropical úmido, mesotérmico, de verões quentes e geadas pouco frequentes. A pluviosidade média anual é de 1800 a 2000 mm, com temperatura média anual de 25° C, IAPAR (1978).

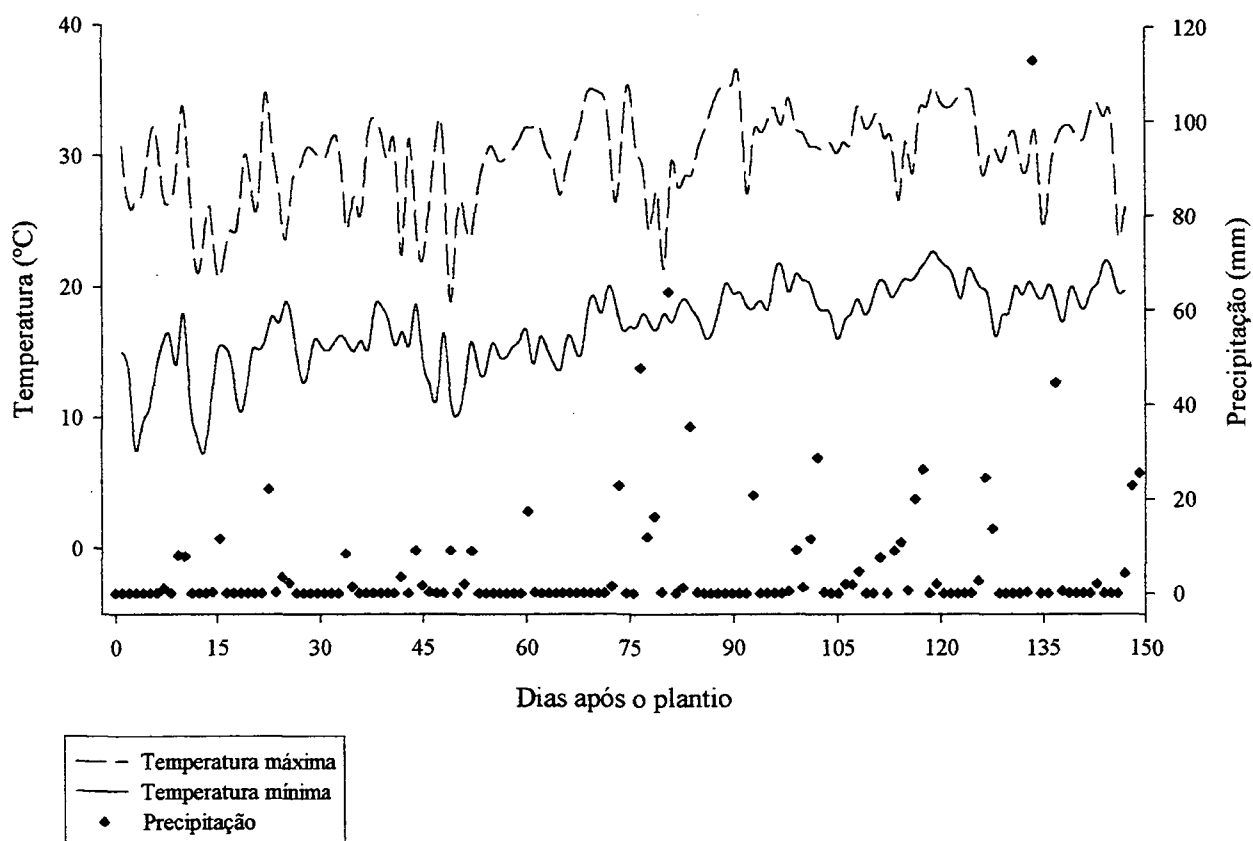


Figura 1 - Dados meteorológicos para a região durante o desenvolvimento da cultura. Fonte: SIMEPAR

4.3 SOLOS

Classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, textura muito argilosa, hipodistrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, EMBRAPA (2000).

4.4 ANÁLISES FÍSICO – QUÍMICAS

As análises de granulometria e químicas foram efetuadas em amostras simples coletadas antes da instalação da cultura do milho, no total de 72 amostras nas profundidades de 0,20, 0,40 e 0,60 m. Foi utilizado o sistema de abertura de covas. As

análises foram realizadas na UFPR/SCA em laboratórios do Departamento de Solos, seguindo a metodologia da EMBRAPA (1977).

Quadro 1. Valores médios da análise química por tratamento

Tratamentos / desvio padrão (Dp)	PH CaCl ₂	Al ⁺³	H+A1	Ca ⁺²⁺ Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁼	T	P mg/dm ³	C g/dm ³	PH SMP	V %
		Cmol _c /dm ³									
Colheitadeira	4.45	0.47	7.54	4.23	2.70	0.15	11.92	3.50	14.36	5.46	35.18
Dp	0.20	0.28	1.06	2.20	1.46	0.13	1.90	6.07	5.75	0.19	13.97
Trator	4.43	0.52	7.56	4.48	3.02	0.24	12.27	4.94	16.56	5.45	36.16
Dp	0.20	0.25	1.03	2.56	1.84	0.19	2.30	7.17	7.40	0.18	14.46
Subsolador	4.53	0.31	7.09	5.97	4.13	0.25	13.31	4.61	18.27	5.54	44.72
Dp	0.21	0.24	1.11	2.71	2.07	0.16	2.20	4.47	6.25	0.21	14.96
Testemunha	4.44	0.45	7.12	4.95	3.34	0.26	12.33	3.67	14.60	5.53	39.79
Dp	0.18	0.29	0.88	2.68	1.93	0.16	2.31	3.61	6.27	0.16	15.32

Quadro 2. Valores médios da análise granulométrica por tratamento

Tratamentos / desvio padrão (Dp)	% Areia	% Silte	% Argila
Colheitadeira	2.0	21.5	76.5
Dp	0.0	4.7	4.7
Trator	2.1	22.7	75.2
Dp	0.5	4.0	4.2
Subsolador	2.0	22.9	75.1
Dp	0.0	5.0	5.0
Testemunha	2.2	22.1	75.6
Dp	0.7	4.7	5.0

4.5 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Após interrupção do crescimento da cultura de inverno (nabo forrageiro) usando-se um rolo faca, foi demarcado o campo experimental, com 24 parcelas de 4 x 10 m, separadas por carregadores de 2 metros no sentido do comprimento (entre parcelas), por 5 metros entre as bases menores (largura), todos plantados com a cultura do milho, localizadas por sorteio.

A área foi corrigida no ano de 1998 com a incorporação de calcário dolomítico e os níveis de adubação, determinados por análises de solo que o agricultor faz todas as safras. Neste plantio o agricultor semeou o cultivar de milho Agrocere 6018, usando o espaçamento de 0,90 m entre linhas, distribuindo 6,8 sementes por metro linear, para atingir 60000 plantas por ha, como estande final, utilizando uma semeadora adubadora regulada para distribuir 72000 sementes por hectare.

4.6 TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 tratamentos e 6 repetições, totalizando 24 parcelas. Os tratamentos foram: (1) o tráfego de uma colheitadeira com o graneleiro cheio, com peso de 12000 kg; (2) o tráfego de um trator agrícola com rodas de pneus, com peso de 4000 kg; (3) preparo mínimo, com o uso de um subsolador de cinco hastes, na profundidade de 40 cm, e a seguir foi feito o nivelamento das parcelas com uma grade niveladora de quatro seções, com 32 discos; (4) plantio direto na palha (PDP) com tráfego aleatório no passado. O tráfego da colheitadeira e do trator ocorreu por cinco passadas em toda a superfície das respectivas parcelas.

N.º DE TRATAMENTOS	= 4
Nº DE REPETIÇÕES	= 6
TRATAMENTO A	= COMPACTAÇÃO P/ COLHEITADEIRA
TRATAMENTO B	= COMPACTAÇÃO P/ TRATOR
TRATAMENTO C	= DESCOMPACTAÇÃO P/ SUBSOLADOR
TRATAMENTO D	= TESTEMUNHA (PLANTIO NA PALHA)

4.7 CROQUI DO EXPERIMENTO

D 4	B 8	A 12	D 16	C 20	A 24
C 3	B 7	D 11	C 15	B 19	C 23
B 2	A 6	B 10	D 14	A 18	B 22
A 1	C 5	D 9	C 13	D 17	A 21

4.8 PARÂMETROS DETERMINADOS

4.8.1 Germinação de sementes

Concretizada a semeadura, em 22/09/99, foram realizadas as contagens de sementes germinadas por repetição para a definição do estado de plantas aptas aos quatro dias, aos dez dias, aos doze dias e aos trinta e sete dias após o plantio.

4.8.2 Densidade do solo

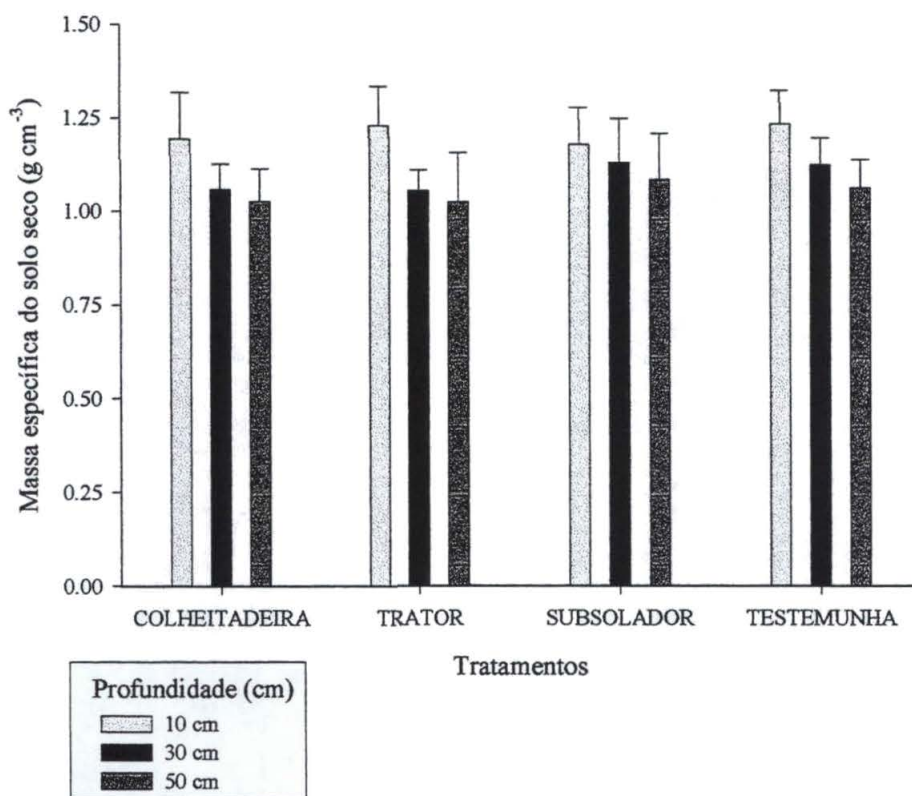


Figura 2. Densidade do solo seco em três profundidades de amostragem por tratamento. As barras verticais representam a metade do desvio padrão

Foram coletadas amostras de solos das parcelas de todos os tratamentos para a determinação da densidade do solo. Não foram observadas diferenças significativas estatisticamente.

4.8.3 Desenvolvimento vegetativo

Foram marcadas (aneladas) 10 plantas em cada parcela, totalizando 240 plantas no experimento. Cada planta recebeu um anel (fio de nylon) que foi amarrado em sua haste após o primeiro par de folhas, tendo como objetivo acompanhar o seu desenvolvimento vegetativo, avaliando e acompanhando o crescimento de cada planta. Durante o período vegetativo e de reprodução foram realizadas seis medidas de estatura. A primeira em

30/10; depois em 06/11; em 15/11; em 20/11; em 27/11 e a última em 11/12, perfazendo 75 dias, quando as plantas já estavam totalmente desenvolvidas.

4.8.4 Colheita do milho

Concluído o ciclo de maturação fisiológica, a cultura do milho foi colhida, parcela por parcela. Foram desprezadas as duas linhas de bordadura e 1 metro na frente e no fundo da parcela, ficando com uma área útil de 14,40 m². A colheita foi manual, coletando-se o produto em sacos plásticos que foram identificados e pesados, obtendo-se o peso bruto de cada parcela. As espigas foram passadas em uma máquina debulhadeira (trilhadeira) e ensacado o milho grão de cada parcela. A umidade foi medida e corrigida e padronizada para 15%, trabalho este realizado em uma estufa; com o peso obtido nos 16 metros lineares da cada parcela, somados por tratamento, resultou a média do tratamento. Cada saco individualizado, por parcela, foi pesado novamente e determinado o peso líquido, objetivo final.

4.8.5 Raízes

Para a realização da contagem do número de raízes e determinar a sua disposição e profundidade no perfil do solo, foram abertas trincheiras, uma em cada parcela, de 0,90x1,0 metro de profundidade, tendo sido centralizada em sua largura uma linha de milho, dividindo-a ao meio, com 45 cm de cada lado, no sentido de seu comprimento.

Foi construído um gabarito de madeira, transpassado com cordas de “nylon”, na largura e na altura, com a medida de 0,90x1,0 metro, permitindo a formação de quadrados de 10x10 cm. Este gabarito foi encostado na parede do perfil do solo e feita a contagem do número de raízes com diâmetro aproximadamente maior que 0,5 mm em cada quadrado de 10 cm, no sentido da largura e da altura e 1 cm de profundidade. Com isso é possível calcular a densidade radicular (n.º raízes/cm³ de solo). Esta leitura foi realizada

com a planta aos 80 dias de idade, em seu pleno desenvolvimento vegetativo e já no início da fase de reprodução (espigamento). Esta malha de pontos de densidade radicular possibilitou a geração de iso-linhas no perfil, por meio do programa Surfer.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O milho é, dentre todas as plantas, uma das que mais armazenam energia extraída da natureza. De uma semente que pesa 0,5 g em média, surgirá uma planta com mais de 2,0 m de altura, em aproximadamente 9 semanas. Nos meses seguintes esta planta será capaz de produzir de 600 a 1000 sementes semelhantes àquela que a originou. Esta extraordinária fábrica de energia é composta de raízes, folhas, colmo e partes florais, que no conjunto consegue armazenar quantidades fantásticas de energia em seus grãos. Evidente, pois, que é preciso oferecer a esta planta as melhores condições de ambiente para que ela demonstre todo o seu potencial de produção. Dentre destas condições de ambiente, as relacionadas com o solo são fundamentais, porque esta planta (milho) dependerá diretamente dele para responder com adequada produtividade.

5.1 ESTANDE DE PLANTAS

O semeadura do experimento foi realizado no dia 22/09/99. As condições de temperatura do ar e umidade do solo foram consideradas normais, sendo que a média das temperaturas mínimas ficou em 13,4° C e a de temperaturas máximas, 29° C. Em 10 dias aconteceram 2 temperaturas mínimas de 7,6° C e 9,5° C (dias 24 e 25/09) e 4 temperaturas máximas de 30,8° C, 30,7° C, 32° C, e 33° C (dias 22, 26, e 27/09 e 01/10) que extrapolaram os limites considerados normais para a germinação de sementes (Magalhães, 1996), que são de temperatura mínima 10° C e temperatura máxima de 30° C, quando então a semente interrompe o processo de germinação. Este fato pode ter tido influência no processo normal de germinação, provavelmente retardando-a parcialmente. No dia da semeadura (22/09) a temperatura chegou a 30,8° C, caindo nos dias seguintes a menos de 10° C (dias 24 e 25/09); aumentando para mais de 30° C nos dias 26, 27/09 e 01/10 (33,9° C), conforme Figura 1, resultando em populações de plantas abaixo das esperadas.

O tratamento compactação pela colheitadeira apresentou o menor estande de plantas, apesar de não ter havido diferença estatisticamente significativa entre os quatro tratamentos. O índice de sobrevivência médio foi de 73%, com 176 plantas, para uma população ideal de 240 plantas por parcela, considerando-se 60000 plantas aptas por ha. O tratamento com compactação pelo trator, em sobrevivência e população de plantas, foi semelhante ao tratamento com compactação pela colheitadeira, apresentando 177 plantas por parcela, com 74% de plantas aptas. O tratamento com descompactação pelo subsolador apresentou o maior índice de sobrevivência dentro do experimento, 79%, com 188 plantas aptas por parcela. O tratamento testemunha, com 181 plantas aptas por parcela, com 75% de sobrevivência ficou em segundo lugar.

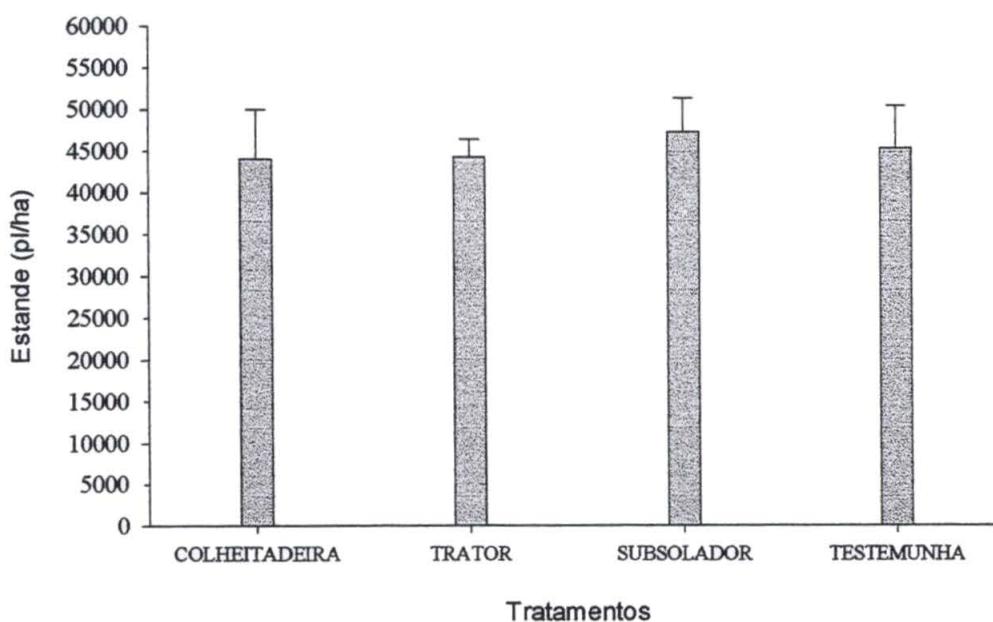


Figura 3 - Estande final de plantas nos tratamentos. As barras verticais representam a metade do desvio padrão

Extrapolando estes dados das parcelas para um estande em condições normais (plantas/ha), as parcelas do tratamento descompactação pelo subsolador considerado isento de compactação apresentou 47000 plantas. Constatou-se uma redução no estande

de 6% para os tratamentos com compactação e 4% para a testemunha, que sofreu tráfego aleatório no passado. Portanto, os três tratamentos com provável maior grau de compactação apresentaram menores estandes finais.

5.2 ESTATURA DAS PLANTAS

Na primeira medida o tratamento compactação pela colheitadeira apresentou a menor altura, com média de 25,4 cm. O tratamento compactação pelo trator, 26,5 cm. O tratamento descompactação pelo subsolador, 32,5 cm, e o tratamento testemunha, 38,5 cm. A diferença entre a menor e a maior altura foi de 34%. Na última medida, dia 11/12, (Figura 4) os tratamentos que sofreram compactação (colheitadeira e trator) não diferiram entre si (191 e 192 cm). O tratamento descompactação pelo subsolador e o tratamento testemunha

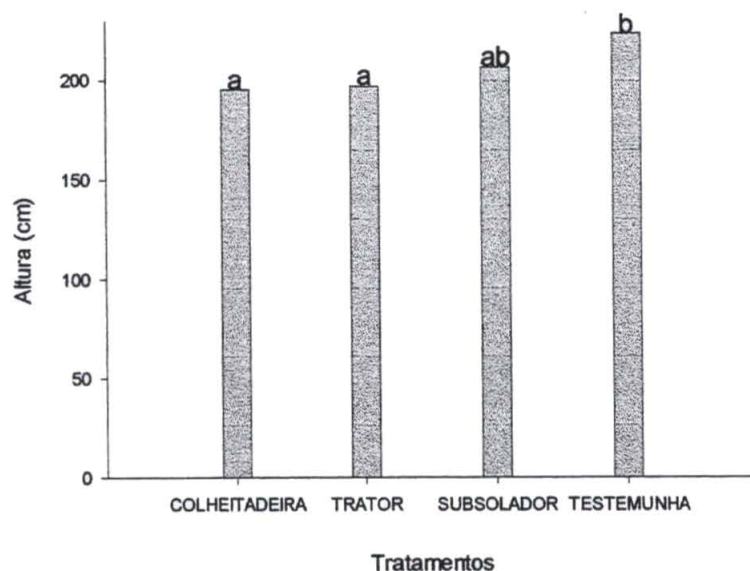


Figura 4 - Altura final das plantas nos tratamentos. Tratamentos com as mesmas letras no topo não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 5%

também não diferiram entre si (212 e 203 cm). Já os tratamentos compactação pela colheitadeira e pelo trator apresentaram diferença estatística do tratamento testemunha e ficaram próximos do tratamento descompactação pelo subsolador.

Estes dados apontam para um efeito negativo da compactação artificial produzida pela colheitadeira e pelo trator.

Na cultura do milho a espiga fica condicionada a ser produzida na haste da planta. Normalmente cada planta apresenta uma única haste (pé). Portanto, o número de espigas é de uma por pé. Entretanto, é possível encontrar-se mais de uma espiga por pé na lavoura.

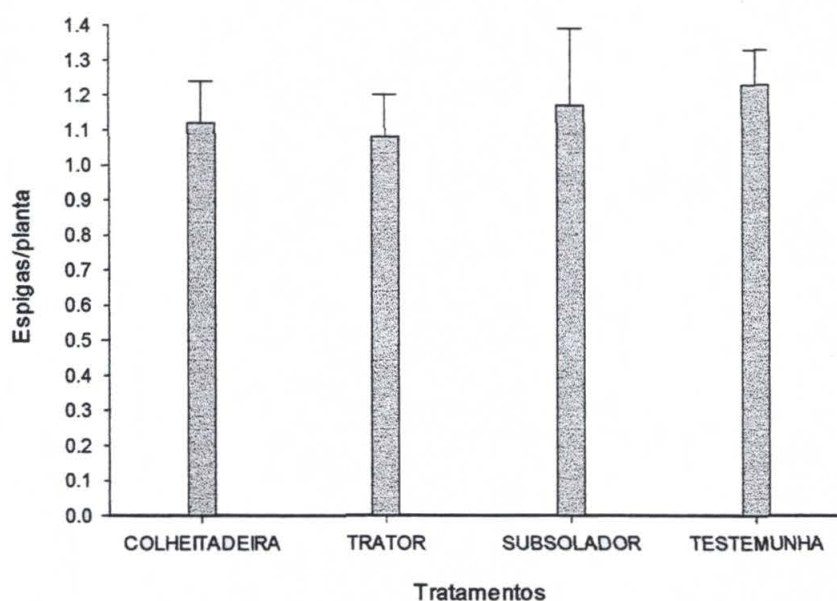


Figura 5 - Relação espiga por planta nos tratamentos. As barras verticais representam a metade do desvio padrão (não houve diferença estatística significativa)

Analisando-se a Figura 5 observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Contudo, os valores para os tratamentos com compactação artificial foram mais próximos entre si, da mesma forma que os tratamentos subsolagem e testemunha. Isto mostra a mesma tendência de indicativos de compactação do solo pelo uso intensivo das máquinas agrícolas neste experimento.

5.3 RAÍZES

Fazendo-se uma análise comparativa de distribuição da densidade radicular no perfil (Figuras 6 e 7), constata-se que todos os tratamentos, exceto o descompactação pelo subsolador, apresentaram uma certa restrição ao desenvolvimento radicular na profundidade aproximada de 30/ 40 cm (Figura 7)

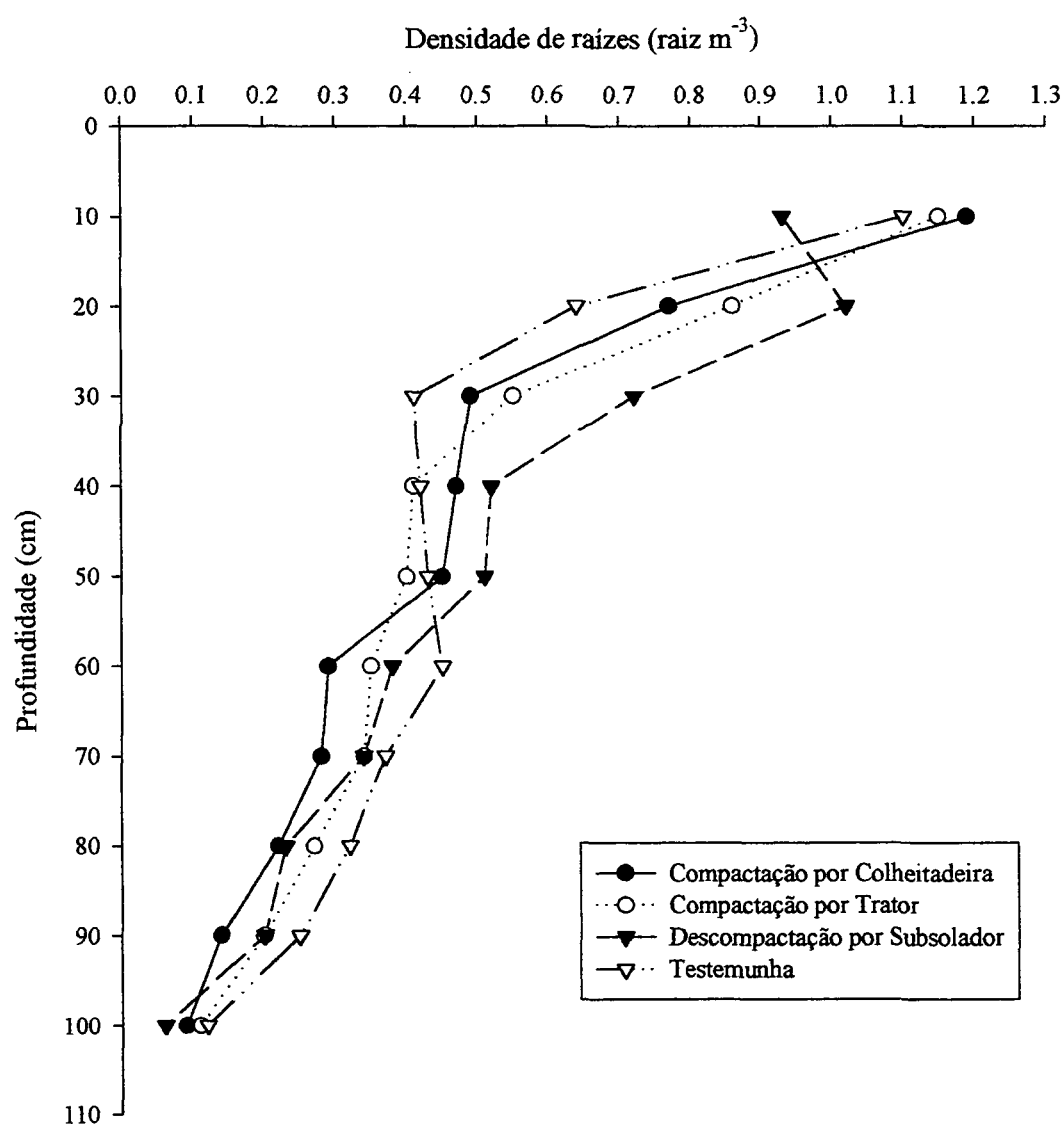


Figura 6 - Densidade de raízes visíveis em profundidade por tratamento

Mesmo que não significativa estatisticamente na testemunha, após esta camada, aumentou o número das raízes e sua área de abrangência. Este fato, conforme comentado anteriormente, pode ser devido ao tráfego anterior de máquinas, podendo ser um indicativo de camada de impedimento ao desenvolvimento radicular, pois as raízes sofreram restrição nesta faixa e após ela, tiveram um ambiente mais favorável ao desenvolvimento. Percebe-se que no tratamento subsolador a proporção de raízes no perfil é maior nas profundidades de 20 a 50 cm, sendo que na camada de 20 cm, verticalmente abaixo da planta, houve uma concentração relativamente maior de raízes. Nos outros tratamentos, o número de raízes próximas à superfície foi maior, o que poderia, em casos de períodos de déficit hídrico, comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

Observando-se a Figura 6 e a Figura 7, constata-se que: os tratamentos com compactação artificial e a testemunha apresentaram a menor média de raízes comparadas à média da subsolagem, apesar de não haver diferença significativa. O tratamento compactação pela colheitadeira, além de ter apresentado o menor número de raízes, estas ficaram confinadas verticalmente abaixo da planta e superficialmente, indicando que o impedimento ao desenvolvimento bi-dimensional no perfil do solo. Os tratamentos subsolador e compactação por colheitadeira tiveram distribuição das raízes próximas à planta semelhante, porém no primeiro, as raízes tiveram um alcance maior em profundidade, onde o volume de solo explorado foi maior devido à subsolagem ter sido feita até a profundidade de 40 cm. Neste tratamento reduziu-se a resistência ao desenvolvimento radicular em camadas mais profundas favorecendo o aumento do número total de raízes, Figura 7, com uma conseqüente melhoria no aproveitamento de nutrientes e água no solo.

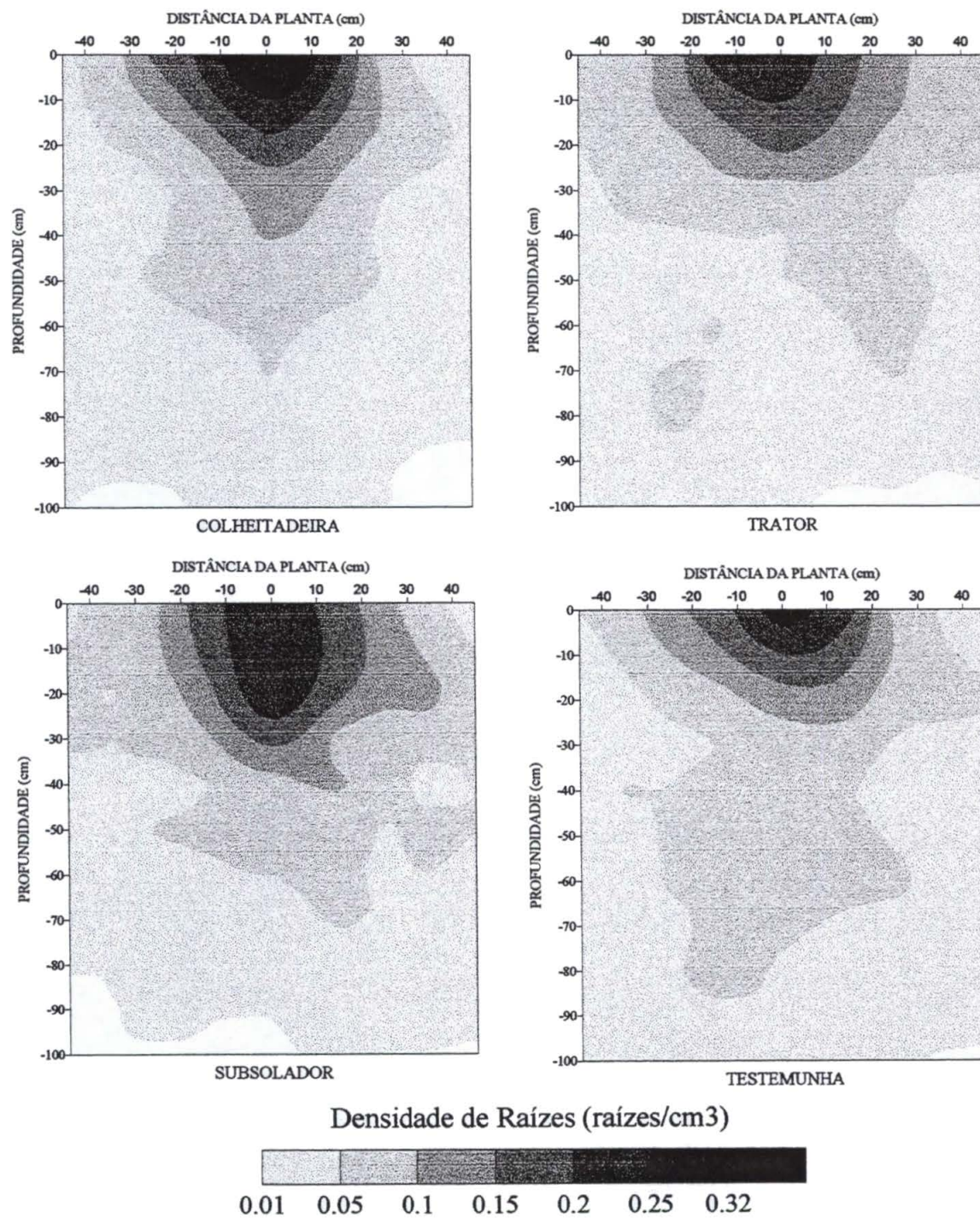


Figura 7 - Distribuição média da densidade radicular por tratamento

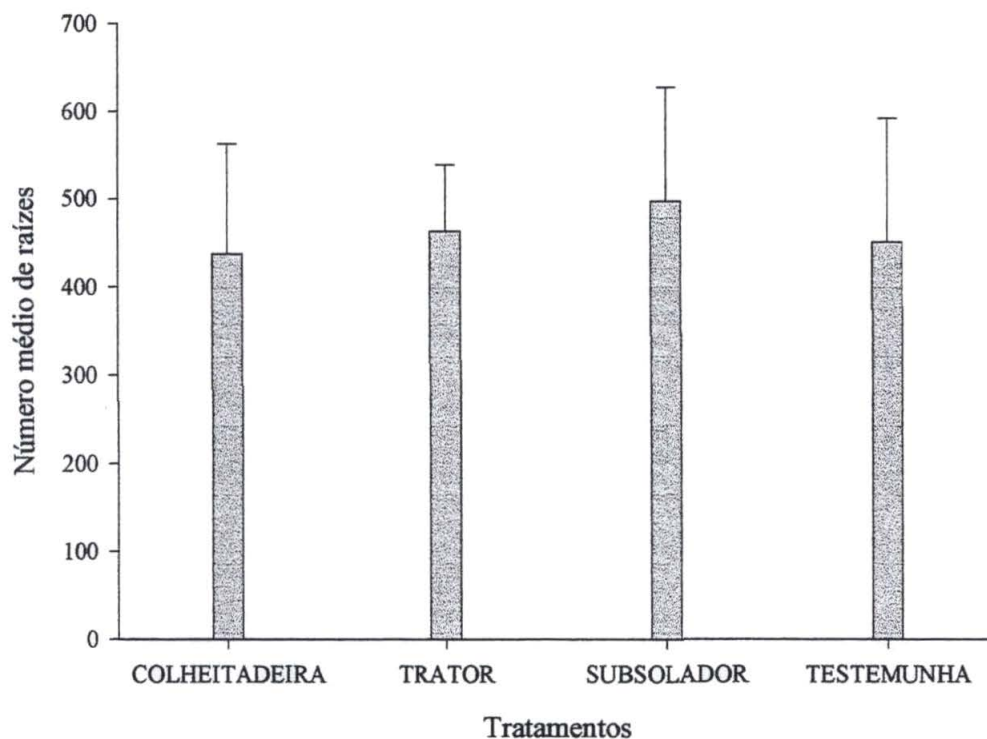


Figura 8 – Média de raízes encontradas nos perfis por tratamento. As barras verticais representam a metade do desvio padrão (não houve diferença estatística significativa)

Porém, revolver ou não o solo para a quebra das camadas adensadas continua em contradição, pois entre as desvantagens do revolvimento estão a desestruturação do solo no plantio direto, o desequilíbrio na proporção de macro e microporos, a exposição do solo ao impacto direto das gotas da chuva favorecendo as diferentes formas de erosão, com consequente aumento nas perdas de solo e de água, através da elevação nas taxas de escoamento superficial. Em contrapartida, a redução dos efeitos da compactação do solo a 30-40 cm de profundidade possibilita condições mais favoráveis ao avanço das raízes em camadas mais profundas.

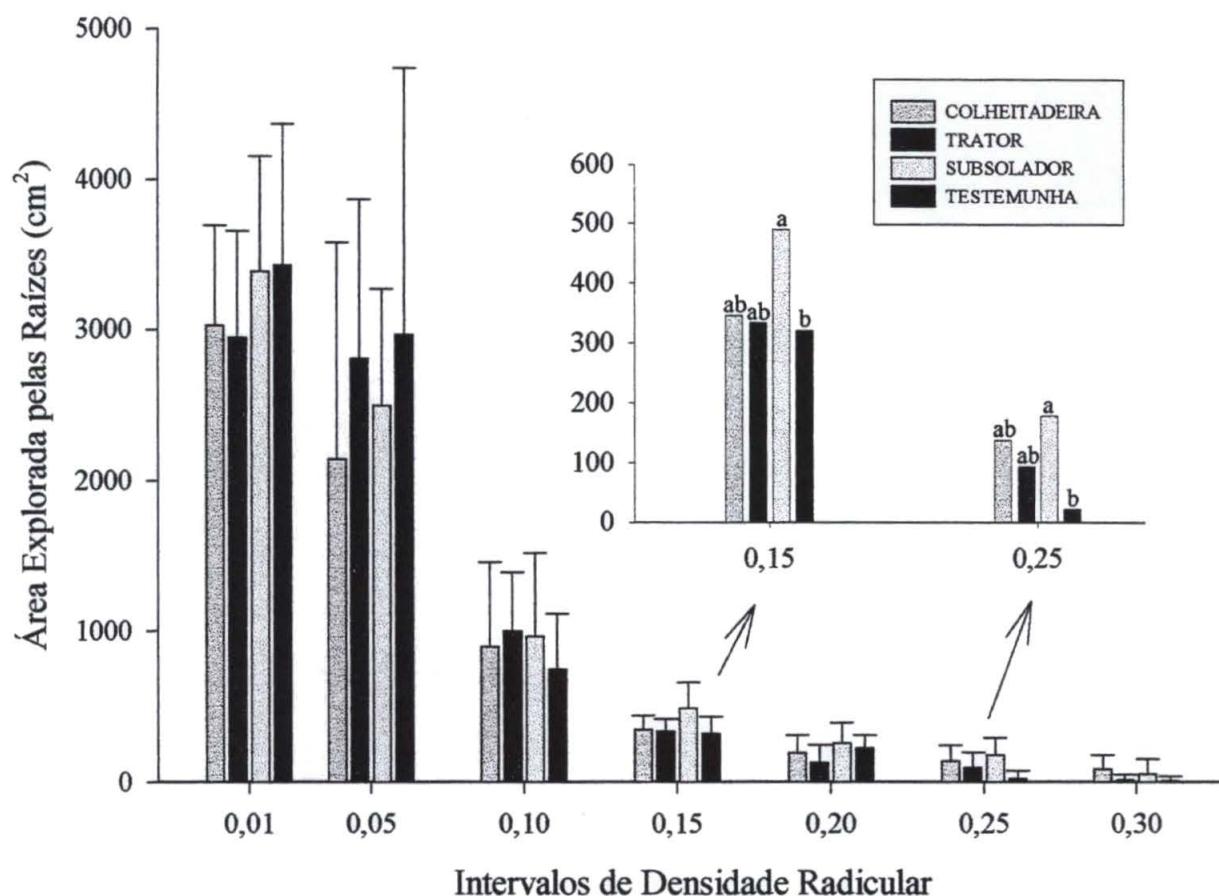


Figura 9 - Área explorada pelas raízes em diferentes intervalos de distribuição nos perfis. Os números no eixo horizontal representam o limite inferior da faixa. As barras verticais representam a metade do desvio padrão. Tratamentos com as mesmas letras no topo não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey (intervalo 0,15: 8%; intervalo 0,25: 6%)

As áreas entre as iso-linhas da Figura 9 podem ser consideradas equivalentes ao volume de solo explorado pelas várias faixas de densidade radicular. Estas áreas, por faixa de densidade radicular, são visualizadas na Figura 9. Até 0,10 raízes/cm³ a testemunha tende a apresentar maior área, apesar da ausência de diferença significativa. Para os intervalos entre 0,15 e 0,30 existe uma tendência nítida de maiores valores para o tratamento subsolagem. Nos intervalos 0,15-0,20 e 0,25-0,30 a subsolagem apresentou valores significativamente maiores que a testemunha. Estas observações são indicativas

que a subsolagem promoveu um ambiente mais adequado para o desenvolvimento das raízes.

5.4 PRODUTIVIDADE

A medida de rentabilidade econômica de uma cultura é demonstrada pela sua produtividade: quanto maior, melhores probabilidades de sucesso financeiro. A tendência das produtividades foi de ser maior para os tratamentos menos compactados: testemunha e subsolagem (Figura 10). Apesar de somente o tratamento de compactação ter apresentado produtividade significativamente menor que os demais, o tratamento compactação por colheitadeira também foi menor que os primeiros. Portanto, há indícios que a compactação artificial causou redução na produtividade.

Na prática tais níveis de compactação provavelmente seriam atingidos com mais tempo de plantio direto. As razões para tais diferenças em produtividade não estão bem nítidas, mas provavelmente estão associadas ao maior estande, ao maior crescimento nos tratamentos sem compactação artificial e ao maior volume de solo explorado pelas raízes no tratamento subsolagem. É intrigante o fato da testemunha apresentar praticamente a mesma produtividade que o tratamento descompactação pelo subsolador, apesar de volumes de solo explorado similar aos tratamentos com compactação forçada. A similaridade entre as produtividades da testemunha e da subsolagem indicam que a subsolagem acarretaria em um impacto econômico negativo para o produtor, ao menos na condição deste experimento (três anos de plantio direto). Assim, esta prática não deveria ser uma recomendação rotineira, visto que demanda conhecimentos técnicos e um pensar diferenciado da pessoa que irá implantá-la.

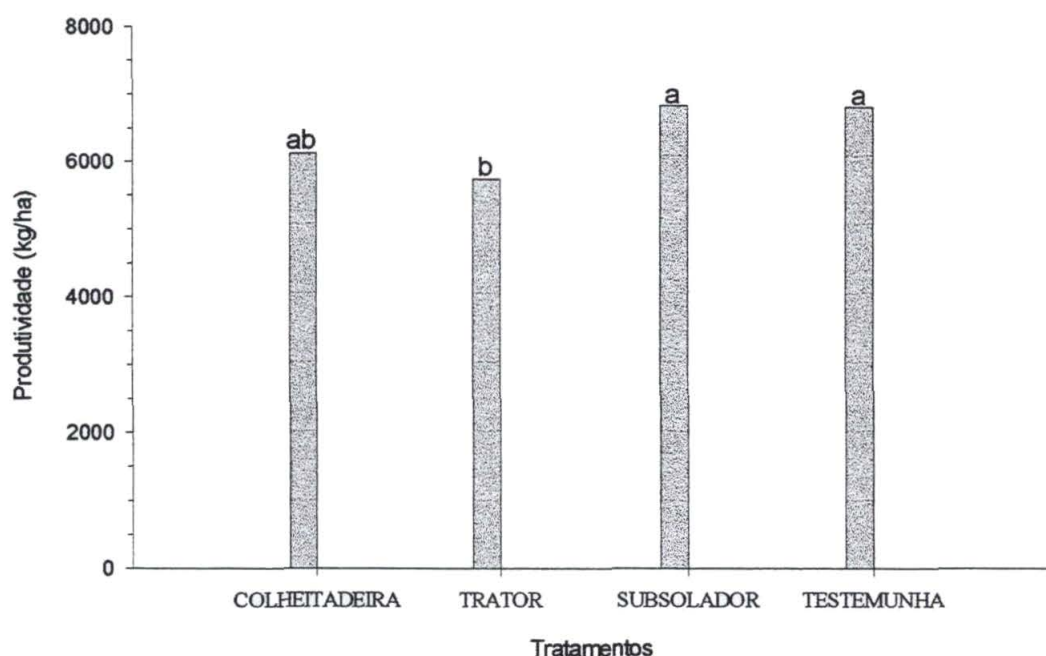


Figura 10 - Produtividade obtida nos tratamentos. Tratamentos com as mesmas letras no topo não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ao nível de 95%

Conforme visto na figura anterior, o clima não apresentou deficiência hídrica durante o desenvolvimento da cultura, pois caso contrário, apesar de ser plantio direto e manter-se uma umidade em superfície com menor variabilidade, a lavoura poderia apresentar sinais de deficiência e responder com uma baixa produtividade nos tratamentos que apresentam seu principal volume de raízes superficialmente. Neste caso, a subsolagem poderia ter um papel decisivo na produtividade da cultura. Com o estande de plantas em todos os tratamentos significativamente diminuído, a produtividade diminuiu proporcionalmente ao número de plantas, pois como cada planta apresenta uma espiga por pé (planta de milho não apresenta perfilhamento em plantio comercial, apesar de possuir capacidade genética), raramente chegando a duas espigas, esta diferença de produção é considerada como prejuízo, pois o agricultor utilizou a mesma tecnologia com a mesma quantidade de insumos (custo de produção não foi alterado).

6 CONCLUSÕES

Os diversos métodos de preparo do solo com a indução de compactação por artificios, demonstraram que houve perda de produtividade na lavoura de milho.

As observações e análises efetuadas permitem concluir que:

- (a) o estande da lavoura não é afetado pela compactação;
- (b) a estatura final das plantas é afetado negativamente pela compactação, pois plantio com menor estande apresenta menor estatura e plantio com maior estande tende a apresentar maior estatura, pela competição observada;
- (c) a quantidade e volume de solo explorado pelas raízes foi afetado negativamente pela compactação artificial;
- (d) a produtividade foi negativamente afetada pela compactação artificial;
- (e) o tratamento descompactação através da subsolagem não aumentou a produtividade em relação á testemunha.

7 RECOMENDAÇÕES

Fazendo-se uma análise geral deste trabalho surgem considerações:

- 1- Deve-se evitar ao máximo a compressão do solo, reduzindo os riscos de compactação por tráfego através da sua minimização;
- 2- Ao observar sinais do início do processo de compactação, procurar tecnologias que venham reduzir ou evitá-lo;
- 3- Este trabalho foi dentro de um período de uma safra somente. Apesar do PDP nesta área ainda estar no quarto ano de uso, seria necessário repeti-lo para se ter dados estatísticos consistentes e representativos sobre o processo de compactação e sua magnitude a nível de danos econômicos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBER, M. S. Effect of tillage pratic on corn (*Zea mays* L.) root distribution and morpology. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.725-726, 1971.

BARLEY, K. P. Mechanical resistance of the soil in relation to the growth root and energing shoots. **Agrochimica**, v.20, p.173-182, 1976.

BARRETO, A. C. **Efeito de sistemas de rotação, sucessão e níveis de calagem, sobre características químicas do solo e no desenvolvimento do sistema radicular e produção de grãos de milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba, 1991. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Solos Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. ; GARDNER, W. R. **Física del suelos**. México : Ed. Hispano – Americana, 1993.

BELTRAME , L. . S.; GONDIM, L. A. P.; Taylor, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, p.145-149, 1981.

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impadance to groth root: a review of experimental techniques and root growth responses. **Jornal of Soil Science**, London, v.41, p.341-358, 1990.

BRADFORD, I. M. Penetrability. In: Klute, A. **Méthods of soil analisys, physical, chemical and mineralogical methods**. Madison: America Society of Agronomy, 1986.

CANALLI, Lutécia Beatriz. **Influência de métodos de preparo e da correção do solo, pré-implantação, na condição hídrica de um latossolo vermelho escuro sob plantio direto**.1993. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

CASSEL, D . K. Efeccts of plowing depth and deep incorporation of lime and phosphorus upon physical and chemical properties of two Coastal Plain Soils after 15 years. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 89-95, 1980.

CINTRA, F. L. D. **Caracterização do impedimento mecânico em latossolos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia

COMIN, J. J. **Desenvolvimento radicular do milho (*Zea Mays L.*) e da soja (*Glycine max (L)* Merrill) em um latossolo Vermelho Escuro após a implantação do plantio direto.** Curitiba, 1992. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração Ciência do Solo). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz-USP, (tese de Doutorado), 1990.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977-1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brasil. **Soil Tillage Res.**, Amsterdam, v.8, p.253-263, 1986.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p. 199-238, 1988.

GERICK, T. J.; MORRISON JÚNIOR, J. E. CHICHESTER, F. W. Effects of controlled on soil physical propertios and orop rooting. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.434-438, 1987.

GODOY, H.; CORREA, A. R; SANTOS, D. **Clima do Paraná: manual agropecuário para o Paraná.** Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1976.

HAMBLIN, A. P. Soil water behavior in response to changes in soil structure. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, p.375-385, 1982.

HANKANSSON, I.; VOORHEES, W. D.; RILEY, A. Vehicle and whell factors influence soil compaction and crop responses in different traffic regimes. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.11, p.239-282, 1988.

HILL, R. L.; HORSTON, R.; CRUSE, R. M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.49, n.5, p.1264-1270, 1985.

KIEHL, E. J. Porosidade. In: **Manual de edafologia: relações solo-planta.** São Paulo: Ed. Ceres, 1979. P. 96-111.

LAL, R. No tillage effects on soil properties and maize (*Zea mays*) production in Western Nigeria. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.40, p.762-768, 1976.

MARSHALL; HOLMES. The physical enviroment of roots. In: MARSHALL , HOLMES. **Soil Physics**, Londres, p.264-275, 1979.

NESMIT, D. S. O soil compaction in double cropped wheat and soybean on a Ultissol. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.51, p.183-186, 1987.

OLIVEIRA, L. B. de. O estudo fisico do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.2, p. 281-285, 1967.

RIESEMBERG, A. L. C. Avaliação do Ambiente Radicular de um Latossolo Vermelho Escuro (textura argilosa) após três anos sob plantio direto. **Dissertação para Conclusão de Mestrado em Agronomia,UFPR**.

ROLOFF, G. **Aspectos dinâmicos da estrutura de solos agrícolas e seu estudo**. Washington: Embaixada do Brasil, 1986. 97p.

SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A . A influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em latossolo roxo distrófico (Oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p. 103-106, 1983.

SIDIRAS, N. e M.J. VIEIRA. Comportamento de um Latossolo Roxo Distrófico compactado pelas rodas do trator na semeadura. In **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 19:1285-1293, 1984.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v.10, p.91-95.

TAYLOR, H. M.; MATHERS, A C.; LOTSPEICH, F. B. Pans in southern great plains soils I. Why root-restricting pans occur. **Agronomy Journal**, Madison, v.56, p.328-332, 1964.

TAYLOR, H. M.; RATLIFF, L. F. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. **Soil Science**, Baltimore, v. 108, p.113-119, 1969.

TORMENA, C. **Resistência à penetração e porosidade em plantio direto influenciados por preparos, pré - implantação, calagem e tráfego**. Curitiba, 1991. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1991.

VOORHESS, W. B.; LINDSTROM, M. J. Soil compaction constraints on conservation tillage in the Northern Corn Belt. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.38, p.307-311, 1983.

WIERSUN, I. K. The relationships of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. **Plant and soil**, v.9, p.75-85, 1957.

ANEXOS

Tabela 1A - Média de peso de grãos/espigas por tratamento

Tratamentos	Peso de grãos por espiga (g) (soma dos tratamentos)	Peso médio de grãos por espiga (g)	Total de espigas	Média de espigas
Compac. Colheitadeira	119-122-130-122-131-128	125	422	70
Compac. Trator	127-112-127-126-117-118	121	408	68
Descomp. Subsolador	131-123-137-130-121-117	126	464	77
Testemunha	131-133-121-114-121-121	123	474	79

Quadro 1A - Leituras de alturas das plantas em cm (11-12-99)

Trat	Parcela	Leitura de alturas (cm)										Média (cm)
A	01	201	198	216	151	151	191	166	199	215	198	191,1
	06	192	204	207	204	158	183	232	250	166	215	
	12	169	228	226	202	137	175	147	182	208	216	
	18	166	168	194	155	169	184	153	178	168	164	
	21	202	198	206	197	218	232	187	230	234	230	
	24	194	214	211	174	176	160	210	180	194	140	
B	02	193	215	194	216	194	210	208	189	160	228	191,9
	07	195	177	169	175	178	195	186	198	214	192	
	08	207	170	186	169	215	230	193	196	198	187	
	10	218	205	238	227	218	187	177	196	212	200	
	19	190	192	190	126	140	191	200	174	182	173	
	22	195	180	198	230	180	223	230	183	185	165	
C	03	199	190	233	214	203	199	175	223	195	227	202,7
	05	227	223	204	228	202	210	220	209	220	237	
	13	178	192	232	204	203	222	202	236	203	214	
	15	187	207	227	204	195	180	229	194	220	210	
	20	163	189	218	197	197	190	161	213	229	181	
	23	180	141	186	159	185	192	198	210	225	168	
D	04	208	231	204	197	232	199	223	194	241	240	212,1
	09	240	237	195	228	211	238	194	213	216	237	
	11	196	231	216	202	233	192	225	187	229	198	
	14	290	228	225	230	220	206	234	230	248	190	
	16	193	195	180	212	183	169	211	202	236	200	
	17	219	231	223	219	215	188	226	204	190	183	

Quadro 2A - Relação peso líquido x peso de grãos (gramas)

Trat.	Parcela	Nº de espigas	Peso bruto	Peso líquido	Peso de grão
A	1	79	12,635	9,450	119
	6	70	12,110	8,575	128
	12	67	12,460	8,645	118
	18	71	12,635	8,715	118
	21	70	13,370	9,240	121
	24	65	11,795	8,365	121
B	2	57	10,500	7,280	122
	7	74	11,725	8,330	127
	8	71	12,915	9,065	112
	10	68	12,495	8,645	127
	19	65	10,710	7,665	131
	22	73	12,565	8,652	115
C	3	66	12,145	8,715	129
	5	80	14,105	9,940	132
	13	88	16,730	12,180	132
	15	61	11,270	8,015	138
	20	83	14,280	10,150	133
	23	86	14,445	10,150	122
D	4	73	13,500	9,625	122
	9	88	15,785	11,760	127
	11	69	12,005	8,365	117
	14	84	13,685	9,695	124
	16	78	13,685	9,520	131
	17	82	14,280	9,940	122
Total		1.768	311,840	220,787	2988
				Média	124

Quadro 3A - Resultados das análises físicas dos tratamentos

Amostra-Prof. (cm)	% Areia	% Silte	% Argila
1-0,20	2	24	74
1-0,40	2	18	80
1-0,60	2	18	80
2-0,20	2	18	80
2-0,40	2	18	80
2-0,60	2	30	68
3-0,20	2	24	74
3-0,40	2	32	66
3-0,60	2	22	76
4-0,20	2	24	74
4-0,40	2	18	80
4-0,60	2	20	78
5-0,20	2	22	76
5-0,40	2	26	72
5-0,60	2	30	68
6-0,20	2	26	72
6-0,40	2	24	74
6-0,60	2	28	70
7-0,20	2	26	72
7-0,40	2	22	76
7-0,60	2	24	74
8-0,20	2	26	72
8-0,40	2	24	74
8-0,60	2	24	74
9-0,20	2	20	78
9-0,40	2	14	84
9-0,60	2	24	74
10-0,20	2	18	80
10-0,40	2	20	78
10-0,60	2	20	78
11-0,20	2	22	76
11-0,40	2	14	84
11-0,60	2	20	78
12-0,20	2	18	80
12-0,40	2	20	78
12-0,60	2	26	72
13-0,20	2	20	78
13-0,40	2	18	80
13-0,60	2	20	78

Quadro 3A - Resultados das análises físicas dos tratamentos (continuação)

Amostra-Prof. (cm)	% Areia	% Silte	% Argila
14-0,20	2	26	72
14-0,40	2	18	80
14-0,60	4	28	68
15-0,20	2	20	78
15-0,40	2	22	76
15-0,60	2	24	74
16-0,20	2	22	76
16-0,40	2	26	72
16-0,60	4	24	72
17-0,20	2	32	66
17-0,40	2	24	74
17-0,60	2	24	74
18-0,20	2	26	72
18-0,40	2	20	78
18-0,60	2	28	70
19-0,20	2	26	72
19-0,40	2	26	72
19-0,60	4	28	68
20-0,20	2	30	68
20-0,40	2	28	70
20-0,60	2	26	72
21-0,20	2	18	80
21-0,40	2	16	82
21-0,60	2	26	72
22-0,20	2	18	80
22-0,40	2	18	80
22-0,60	2	18	80
23-0,20	2	16	82
23-0,40	2	18	80
23-0,60	2	16	82
24-0,20	2	16	82
24-0,40	2	14	84

Quadro 4A - Resultados das análises químicas dos tratamentos

Análise Quím. Amostra-Prof. (cm)	pH CaCl ₂	Al ⁺³	H+A1	Ca ⁺² + Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁼	T	P mg/dm ³	C g/dm ³	pH SMP	V %
1-0,20	4,50	0,30	6,20	8,50	6,00	0,28	14,98	4,0	24,4	5,70	58,61
1-0,40	4,80	0,00	5,30	6,40	3,80	0,06	11,76	1,0	13,5	5,90	54,93
1-0,60	4,40	0,50	7,80	3,40	2,10	0,06	11,26	1,0	12,5	5,40	30,73
2-0,20	4,40	0,50	7,20	1,90	1,20	0,07	9,17	1,0	7,6	5,50	21,48
2-0,40	4,50	0,50	7,20	2,90	2,10	0,10	10,20	1,0	9,6	5,50	29,41
2-0,60	4,60	0,40	7,80	4,60	3,50	0,24	12,64	4,0	15,5	5,40	38,29
3-0,20	4,70	0,20	6,20	9,10	6,70	0,51	15,81	8,0	28,3	5,70	60,78
3-0,40	4,50	0,30	7,20	5,90	4,00	0,16	13,26	4,0	24,4	5,50	45,70
3-0,60	4,30	0,60	7,80	3,70	2,50	0,08	11,58	2,0	13,5	5,40	32,64
4-0,20	4,30	0,60	5,80	8,50	5,90	0,44	14,74	5,0	22,4	5,80	60,65
4-0,40	4,60	0,20	6,20	5,70	3,90	0,25	12,15	1,0	14,5	5,70	48,97
4-0,60	4,40	0,60	7,80	2,80	1,90	0,15	10,75	1,0	11,5	5,40	27,44
5-0,20	4,60	0,20	6,20	9,30	6,90	0,30	15,80	5,0	23,4	5,70	60,76
5-0,40	4,90	0,00	5,30	9,60	7,10	0,11	15,01	1,0	20,9	5,90	64,69
5-0,60	4,90	0,00	5,80	8,80	6,10	0,33	14,93	11,0	25,4	5,80	61,15
6-0,20	4,90	0,00	5,80	5,30	3,50	0,05	11,15	1,0	12,5	5,80	47,98
6-0,40	4,60	0,40	7,20	3,70	2,40	0,10	11,00	1,0	12,5	5,50	34,55
6-0,60	4,30	0,80	7,20	2,80	1,80	0,08	10,08	2,0	11,5	5,50	28,57
7-0,20	4,60	0,20	6,20	8,50	5,80	0,58	15,28	10,0	28,3	5,70	59,42
7-0,40	4,60	0,40	6,70	3,50	2,30	0,21	10,41	1,0	15,5	5,60	35,64
7-0,60	4,30	0,80	7,80	2,40	1,50	0,13	10,33	1,0	10,6	5,40	24,49
8-0,20	4,70	0,20	6,20	7,70	5,10	0,56	14,46	8,0	27,3	5,70	57,12
8-0,40	4,60	0,40	8,40	5,40	3,40	0,21	14,01	3,0	20,9	5,30	40,04
8-0,60	4,30	1,00	10,40	3,50	2,30	0,12	14,02	4,0	22,4	5,00	25,82
9-0,20	4,50	0,20	7,20	8,70	6,00	0,47	16,37	7,0	24,4	5,50	56,02
9-0,40	4,70	0,20	6,70	6,00	4,00	0,33	13,03	1,0	14,5	5,60	48,58
9-0,60	4,50	0,30	7,20	3,50	2,50	0,21	10,91	1,0	10,6	5,50	34,01
10-0,20	4,70	0,20	6,70	8,70	6,20	0,54	15,94	7,0	27,3	5,60	57,97
10-0,40	4,40	0,70	7,80	2,80	1,90	0,10	10,70	1,0	11,5	5,40	27,10
10-0,60	4,30	0,60	7,80	2,00	1,30	0,06	9,86	2,0	8,6	5,40	20,89
11-0,20	4,50	0,20	6,70	7,80	5,70	0,50	15,00	14,0	23,4	5,60	55,33
11-0,40	4,30	1,00	6,20	2,30	1,50	0,10	8,60	1,0	9,6	5,70	27,91
11-0,60	4,20	0,70	7,80	2,00	1,20	0,06	9,86	2,0	10,6	5,40	20,89
12-0,20	4,40	0,40	7,80	6,50	3,90	0,30	14,60	4,0	23,4	5,40	46,58
12-0,40	4,40	0,50	7,80	2,70	1,80	0,12	10,62	2,0	11,5	5,40	26,55
12-0,60	4,30	0,60	7,80	2,40	1,50	0,06	10,26	2,0	7,6	5,40	23,98
13-0,20	4,60	0,20	6,20	8,90	6,10	0,52	15,62	9,0	24,4	5,70	60,31
13-0,40	4,80	0,00	5,80	5,30	3,50	0,25	11,35	1,0	14,5	5,80	48,90
13-0,60	4,70	0,20	6,70	3,50	2,30	0,16	10,36	2,0	10,6	5,60	35,33

Quadro 4A – Resultados das análises químicas dos tratamentos (continuação)

Análise Quím. Amostra-Prof. (cm)	pH CaCl ₂	Al ⁺³	H+Al	Ca ⁺² + Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁼	T	P mg/dm ³	C g/dm ³	pH SMP	V %
14-0,20	4,80	0,00	6,20	8,10	5,30	0,45	14,75	6,0	23,40	5,70	57,97
14-0,40	4,40	0,50	7,80	2,90	1,90	0,10	10,80	2,0	12,5	5,40	27,78
14-0,60	4,30	0,60	7,80	2,10	1,30	0,08	9,98	4,0	9,6	5,40	21,84
15-0,20	4,50	0,20	6,70	7,50	5,00	0,49	14,69	6,0	23,4	5,60	54,39
15-0,40	4,20	0,80	8,40	3,00	2,00	0,11	11,51	1,0	12,5	5,30	27,02
15-0,60	4,20	0,70	8,40	1,60	1,00	0,07	10,07	2,0	9,6	5,30	16,58
16-0,20	4,40	0,30	7,20	6,70	4,00	0,35	14,25	4,0	2,3	5,50	49,47
16-0,40	4,30	0,70	8,40	2,80	1,80	0,13	11,33	2,0	11,5	5,30	25,86
16-0,60	4,30	0,60	8,40	2,50	1,60	0,11	11,01	2,0	10,6	5,30	23,71
17-0,20	4,60	0,20	6,20	9,30	6,90	0,48	15,98	10,0	23,4	5,70	61,20
17-0,40	4,70	0,20	6,20	5,30	3,50	0,28	11,78	2,0	15,5	5,70	47,37
17-0,60	4,20	1,00	8,40	2,10	1,30	0,17	10,67	1,0	12,5	5,30	21,27
18-0,20	4,40	0,30	8,40	6,50	3,90	0,48	15,38	27,0	24,4	5,30	45,38
18-0,40	4,30	0,90	9,00	2,70	1,90	0,09	11,79	1,0	12,5	5,30	23,66
18-0,60	4,20	0,90	8,40	1,90	1,10	0,05	10,35	1,0	9,1	5,30	18,84
19-0,20	4,30	0,60	7,20	6,00	4,20	0,42	13,62	31,0	26,3	5,50	47,14
19-0,40	4,10	1,00	8,40	2,40	1,40	0,17	10,97	1,0	12,5	5,30	23,43
19-0,60	4,10	0,60	7,80	2,00	1,20	0,07	9,87	2,0	9,6	5,40	20,97
20-0,20	4,40	0,20	7,20	8,20	6,20	0,48	15,88	5,0	22,4	5,50	54,66
20-0,40	4,40	0,40	7,80	4,50	2,80	0,26	12,56	2,0	14,5	5,40	37,90
20-0,60	4,30	0,60	9,70	3,90	2,60	0,18	13,78	2,0	17,5	5,10	29,61
21-0,20	4,60	0,20	6,70	8,00	5,30	0,27	14,97	5,0	20,4	5,60	55,24
21-0,40	4,70	0,20	6,70	4,70	2,90	0,10	11,50	1,0	13,5	5,60	41,74
21-0,60	4,40	0,50	7,80	2,60	1,60	0,08	10,48	1,0	10,6	5,40	25,57
22-0,20	4,70	0,20	6,20	9,60	6,80	0,50	16,30	9,0	22,4	5,70	61,96
22-0,40	4,20	0,60	8,40	3,40	2,20	0,08	11,88	1,0	11,5	5,30	29,29
22-0,60	4,30	0,50	7,80	3,30	2,00	0,10	11,20	2,0	10,6	5,40	30,36
23-0,20	4,50	0,30	7,20	8,00	5,60	0,38	15,58	18,0	22,4	5,50	53,79
23-0,40	4,50	0,50	7,80	4,30	2,50	0,08	12,18	2,0	12,6	5,40	35,96
23-0,60	4,60	0,20	7,20	2,30	1,40	0,08	9,58	2,0	8,6	5,50	24,84
24-0,20	4,40	0,50	8,40	4,80	3,10	0,35	13,55	6,0	21,4	5,30	38,01
24-0,40	4,30	0,80	9,00	2,30	1,30	0,13	11,43	1,0	10,6	5,20	21,26
24-0,60	4,20	0,70	8,40	1,00	0,70	0,05	9,45	2,0	6,6	5,30	11,11

Quadro 5A – Somatório de raízes encontradas nos perfis em profundidade por tratamento

Trat.	Parcela	Profundidade (cm)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
A	1	74	109	84	64	65	47	30	25	13	12
	6	153	56	33	43	47	44	58	35	32	25
	12	131	52	43	57	91	54	51	44	31	15
	18	130	108	33	40	29	10	16	16	0	0
	21	117	71	71	59	33	11	13	10	5	2
	24	111	66	27	16	7	6	0	0	0	0
B	2	127	75	90	55	50	32	47	47	37	33
	7	76	82	49	51	38	39	37	36	38	17
	8	84	85	74	49	30	29	36	40	34	16
	10	100	100	57	33	54	53	36	28	2	1
	19	144	79	30	9	29	30	28	9	5	0
	22	160	92	28	47	37	25	20	4	3	0
C	3	93	125	55	36	57	48	42	30	33	7
	5	130	98	69	41	45	55	52	42	48	13
	13	121	87	45	36	46	14	18	12	4	7
	15	76	72	44	30	31	31	19	7	0	0
	20	135	107	112	93	84	45	52	27	11	0
	23	45	122	104	75	42	34	21	21	25	6
D	4	79	46	34	59	48	54	39	43	52	25
	9	154	59	51	43	52	71	79	68	60	43
	11	160	58	30	63	54	47	43	48	15	0
	14	111	72	26	29	38	35	16	16	11	2
	16	96	75	49	20	43	46	38	13	11	2
	17	62	73	57	36	24	18	4	3	2	0

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Quadro 18A - Distribuição do número de raízes no perfil (parcela 13)

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Quadro 30A - Precipitação Diária em 1999 para a Região (mm)

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0.0	2.4	1.4	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0
2	0.0	5.0	0.0	0.3	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	7.8	3.4	1.4
3	0.0	40.2	0.0	0.0	0.0	0.0	48.6	0.0	0.0	0.0	0.0	22.8
4	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0
5	65.0	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0
6	0.0	0.2	0.0	0.0	49.2	0.0	3.4	0.0	3.4	0.2	0.2	47.8
7	0.0	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	4.2	0.0	11.6	0.0	12.0
8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	17.8	0.0	0.0	16.4
9	0.0		0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	28.6	0.0	9.0	0.2
10	0.0	1.2	21.9	0.0	0.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.0
11	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.0	0.0
12	12.8	0.0	0.6	5.0	9.1	8.6	0.0	0.4	5.0	0.0	9.0	1.2
13	4.0	0.0	0.0	12.3	0.0	66.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	35.4
14	1.0	32.0	0.0	1.8	0.0	7.8	0.0	0.0	80.0	22.2	0.0	0.2
15	9.6	27.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	53.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0
17	0.4	17.0	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0
18	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	91.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0
21	7.5	0.5	10.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
22	5.8	1.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8
23	0.0	7.8	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	9.6	1.2	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0
27	7.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2
29	14.5		4.0	0.0	22.4	11.4	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.2
30	0.0		13.0	0.0	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6
31	0.7		7.2		0.0		0.0	0.0		0.0		28.8

Fonte: Instituto Tecnológico Simepar. Estações: Salto Osório/Quedas do Iguaçu

Quadro 31A - Precipitação Diária em 2000 para a Região (mm)

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0.2	0.0	4.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	39.4	14.0	14.2	0.0	31.2	0.0	0.0	0.0	0.6	1.8
3	0.0	44.6	0.2	0.0	29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	2.0	0.4	0.4	0.0	11.2	3.6	0.0	0.0	0.0	21.0	0.0	0.0
5	1.8	0.0	4.8	0.0	25.4	4.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
6	4.6	0.0	27.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0	2.8	0.0
9	7.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.4	0.2	0.0	17.2	0.0	0.0
11	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	8.2	0.0	0.2	
12	10.8	0.0	0.0	0.8	0.0	9.4	0.2	0.0	4.8	0.0	2.0	0.0
13	0.6	4.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	27.6	0.0	2.4
14	20.0	22.8	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	26.2	25.4	0.0	2.0	0.0	0.0	1.4	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	26.8	28.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	2.0	0.0	0.8	27.8	1.2	2.8	0.0	7.4	0.0	3.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	21.8	0.2	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	7.0	0.0	0.0	16.2	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
21	0.0	54.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.2	0.0
22	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0
23	2.6	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	24.6	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	0.0	4.8	0.0
25	13.8	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
26	0.0	36.0	0.0	1.6	25.8	9.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	13.8	34.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	8.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0
29	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	13.2	0.0	0.0	1.6	0.0	2.0	0.0
30	0.2		0.0	0.0	3.6	9.8	0.6	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0
31	113.0		0.0		0.0		0.0	2.4		0.0		0.0

Fonte: Instituto Tecnológico Simepar. Estações: Salto Osório/Quedas do Iguaçu

Quadro 32A – Temperatura Mínima Diária em 1999 para a Região (°C)

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	17.0	19.0	19.2	18.0	15.2	6.2	10.2	8.1	21.6	18.0	15.5	18.0
2	19.3	18.0	20.8	20.8	16.0	7.4	13.8	8.2	16.3	11.2	16.6	20.0
3	18.4	18.0	20.8	20.0	13.4	13.0	16.0	8.9	15.1	8.6	15.5	18.8
4	18.3	20.0	20.4	20.0	14.0	12.0	11.2	9.5	18.2	7.3	18.7	16.7
5	18.0	21.0	21.0	19.8	15.6	10.2	9.0	9.1	18.0	10.8	14.2	16.9
6	18.0	20.8	19.8	19.0	18.0	7.0	11.4	14.7	15.5	15.0	12.5	17.0
7	18.0	21.0	21.0	18.0	15.8	10.2	10.8	7.5	20.6	15.4	11.5	18.0
8	17.8	21.4	20.4	17.0	11.0	12.4	9.0	4.4	16.9	14.3	16.5	17.2
9	18.0		20.8	17.4	11.2	15.0	8.0	4.9	13.7	10.8	11.5	16.8
10	19.8	19.8	20.0	16.8	13.0	8.0	11.0	9.0	11.6	11.5	10.2	18.0
11	19.6	17.0	21.8	19.0	14.0	4.2	12.4	11.8	11.7	15.0	12.2	17.3
12	18.4	16.8	19.0	19.0	13.2	8.2	12.0	13.3	12.6	15.2	15.8	18.4
13	17.8	20.2	17.4	19.0	10.0	13.0	11.0	9.5	13.4	16.1	13.7	19.1
14	19.0	19.6	17.0	19.0	10.0	8.8	10.0	2.6	14.3	17.8	13.6	18.3
15	18.0	19.0	18.2	16.8	9.0	11.4	11.8	-1.3	11.2	17.3	15.7	17.5
16	18.0	20.0	19.0	5.2	10.8	12.0	12.2	0.7	6.2	18.9	14.8	16.1
17	20.4	19.8	19.0	3.0	11.8	14.0	13.0	7.5	9.7	17.0	14.6	16.6
18	21.0	19.2	19.8	3.2	12.6	14.2	12.0	11.2	12.6	13.3	15.4	18.5
19	19.8	19.0	19.0	6.4	10.2	13.0	14.2	11.7	16.8	13.2	15.9	20.3
20	19.8	17.6	19.4	11.0	6.0	12.6	10.2	13.0	14.8	15.8	16.7	19.5
21	19.0	18.2	20.0	14.0	5.0	11.2	8.0	14.3	13.7	15.6	14.1	19.6
22	20.0	19.0	19.6	15.0	5.8	9.6	6.2	13.4	15.0	15.1	16.1	18.5
23	20.4	18.8	19.0	16.0	8.0	9.8	8.4	13.4	13.2	15.7	15.3	18.4
24	21.0	18.0	19.6	16.0	9.2	13.8	11.0	15.8	7.6	16.3	14.1	18.9
25	20.0	20.0	19.8	16.2	9.0	15.2	13.0	13.5	9.5	15.7	13.8	18.3
26	20.8	19.0	20.4	15.0	11.0	15.0	14.2	14.9	10.7	15.1	16.2	21.0
27	19.6	20.0	20.0	15.0	14.0	14.8	13.0	16.6	13.8	15.9	15.4	21.6
28	19.8	19.0	21.2	15.0	15.2	12.6	12.4	15.9	15.8	15.2	14.9	19.6
29	20.0		18.0	16.0	12.0	13.8	14.0	13.2	16.3	18.5	18.3	21.0
30	19.2		18.0	18.2	7.0	7.8	10.0	16.2	14.1	18.5	19.2	20.5
31	21.0		19.0		4.6		4.6	18.9		17.4		20.3

Fonte: Instituto Tecnológico Simepar. Estações: Salto Osório/Quedas do Iguaçu

Quadro 33A – Temperatura Mínima Diária em 2000 para a Região (°C)

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	18.7	20.4	19.7	18.3	17.6	8.1	11.7	11.6	15.0	16.9	17.3	17.4
2	18.2	19.5	20.7	17.5	14.7	5.6	11.0	12.9	13.7	17.8	18.0	17.0
3	17.9	19.2	20.2	16.7	15.5	12.9	7.4	13.6	12.7	16.8	17.7	17.7
4	16.0	20.2	21.7	16.0	17.9	15.2	9.1	8.8	10.8	17.0	16.2	18.3
5	17.4	18.5	21.0	18.2	13.9	16.0	12.4	7.2	8.8	14.0	16.1	17.0
6	18.0	17.4	20.8	17.0	9.4	16.4	13.0	11.5	10.7	8.8	18.5	15.6
7	19.1	19.9	19.9	16.9	6.8	15.5	12.9	11.8	10.9	9.8	18.7	15.3
8	17.9	19.1	17.5	17.3	12.4	16.7	15.2	13.3	14.1	11.9	18.5	17.5
9	18.8	18.3	15.3	17.5	9.0	15.2	16.5	14.7	12.7	16.5	18.4	17.5
10	20.3	19.7	17.8	15.9	8.0	15.6	10.8	12.2	19.0	18.2	17.6	19.5
11	20.3	20.3	17.3	15.3	11.7	15.0	5.7	7.0	20.0	17.4	19.4	
12	19.2	21.9	16.9	16.2	9.8	14.7	1.8	6.6	15.6	20.2	18.4	24.1
13	20.0	21.4	16.8	14.7	11.5	14.4	-1.1	10.8	15.8	16.4	16.8	21.2
14	20.6	19.6	18.4	14.3	13.5	14.5	-1.1	12.4	13.8	16.7	16.6	20.5
15	20.5	19.7	17.6	16.6	14.3	15.5	7.5	13.6	13.2	17.8	11.6	21.3
16	21.3	18.5	18.8	18.6	14.8	16.8	1.9	7.5	14.3	18.0	8.4	15.1
17	22.0	16.3	19.9	18.3	10.9	15.2	-1.5	15.0	15.6	17.9	14.0	11.9
18	22.7	14.8	18.8	18.4	12.6	11.9	0.9	12.2	15.6	17.4	16.3	15.3
19	22.0	15.8	15.2	14.5	11.5	10.8	5.3	12.2	18.6	19.1	16.2	15.5
20	21.5	17.5	17.9	13.3	11.7	9.9	-0.9	10.9	17.2	18.3	18.1	18.5
21	20.6	18.2	17.6	10.6	11.0	5.6	1.3	12.2	16.1	16.6	17.7	18.5
22	19.1	18.0	18.8	10.0	10.2	4.1	11.6	14.5	13.0	16.8	15.2	18.3
23	21.3	19.8	18.8	11.6	9.6	6.3	4.3	15.6	14.0	19.6	17.9	17.1
24	20.8	20.4	18.0	13.3	11.2	12.0	0.6	15.3	11.1	19.3	18.3	19.0
25	19.9	20.1	17.3	13.4	13.7	19.6	3.2	19.2	6.2	20.2	18.0	21.3
26	19.3	19.7	19.1	15.9	14.5	15.8	4.6	15.6	5.7	20.2	17.0	21.1
27	16.2	19.3	17.0	15.9	9.0	15.2	7.1	14.3	7.8	17.4	18.1	21.0
28	17.8	21.0	16.6	17.2	4.6	16.1	8.1	13.4	13.1	14.0	19.6	19.0
29	18.0	21.3	14.9	17.1	4.3	13.0	9.9	6.1	16.4	13.7	18.5	18.9
30	20.1		17.0	15.3	10.7	12.1	14.1	8.6	17.2	14.8	19.3	19.7
31	19.4		16.9		10.4		12.8	13.9		16.1		18.5

Fonte: Instituto Tecnológico Simepar. Estações: Salto Osório/Quedas do Iguaçu

Quadro 34A – Temperatura Máxima Diária em 1999 para a Região (°C)

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	29.0	29.4	31.0	27.0	29.0	20.2	19.0	23.1	34.5	33.9	30.9	34.8
2	30.0	24.8	32.0	32.2	28.6	22.0	22.0	24.4	35.3	27.6	22.4	32.9
3	32.4	33.0	32.4	32.0	28.4	22.0	19.2	27.1	34.6	21.3	31.2	26.5
4	32.4	31.6	32.0	32.0	30.2	20.0	17.0	28.3	34.1	23.2	25.2	31.3
5	29.0	31.6	32.0	32.0	21.8	18.8	17.0	28.3	25.2	26.1	22.0	35.4
6	31.0	33.8	32.0	28.2	21.0	18.8	13.8	27.9	31.7	21.1	26.2	30.6
7	30.8	32.0	32.8	30.0	23.8	21.0	18.0	23.8	33.6	22.0	31.2	29.1
8	31.0	27.6	31.8	30.0	23.4	17.2	16.0	19.1	32.8	24.3	31.3	24.3
9	31.0		27.0	28.0	23.0	20.6	21.0	25.3	17.8	24.7	19.0	27.3
10	31.0	29.0	30.2	28.4	26.0	18.0	23.6	29.7	23.7	30.0	25.1	21.4
11	29.2	30.2	29.0	27.0	25.0	19.8	25.0	32.1	26.3	27.5	25.8	29.3
12	29.0	32.0	31.0	26.0	23.4	13.8	25.2	31.6	27.3	26.6	23.7	27.7
13	31.2	30.2	30.0	27.0	22.0	15.8	24.0	21.8	29.4	34.7	27.5	28.5
14	27.8	25.0	29.2	23.8	22.0	17.0	25.0	11.6	20.3	31.1	29.7	28.6
15	28.8	31.0	30.4	20.0	23.0	22.0	27.2	14.2	22.0	27.2	30.8	30.7
16	30.8	31.0	30.2	19.0	24.4	21.0	27.0	20.1	26.4	23.6	29.7	32.1
17	31.8	24.2	30.2	15.0	25.0	18.0	18.2	23.2	31.6	28.0	29.8	33.7
18	31.6	30.0	32.2	18.4	24.0	17.0	23.6	25.4	29.1	29.0	30.4	35.0
19	30.2	28.6	32.8	22.0	19.2	17.0	19.6	30.0	31.7	30.5	31.2	35.5
20	28.0	28.0	31.0	23.2	15.2	16.4	17.8	31.1	30.3	30.5	32.2	35.6
21	33.0	29.0	25.0	23.0	18.5	20.2	16.8	31.0	30.7	29.9	32.2	35.8
22	33.6	28.0	24.0	29.2	21.4	21.0	21.0	30.5	30.8	30.0	32.4	27.2
23	33.8	29.0	25.0	30.0	23.0	24.0	20.4	31.6	26.5	31.5	30.5	31.6
24	33.0	30.2	29.0	29.0	20.2	18.0	26.1	31.3	26.7	30.0	29.3	31.8
25	33.0	30.2	29.4	29.0	20.6	23.6	29.5	30.7	27.1	24.4	27.0	32.7
26	32.8	32.0	30.0	27.6	24.0	27.2	28.0	28.4	30.7	26.9	29.3	33.7
27	32.0	32.6	32.6	27.6	23.2	26.8	22.9	30.4	32.0	25.4	30.9	32.4
28	31.0	31.8	33.0	28.0	25.2	27.0	23.3	28.3	27.3	31.2	32.5	34.5
29	28.4		26.0	28.2	21.0	23.0	28.7	29.7	26.5	32.9	34.8	32.3
30	27.6		22.0	28.0	15.8	17.0	22.7	34.6	28.7	31.7	35.1	31.8
31	28.0		25.0		18.4		21.8	34.9		29.8		30.8

Fonte: Instituto Tecnológico Simepar. Estações: Salto Osório/Quedas do Iguaçu

Quadro 35A – Temperatura Máxima Diária em 2000 para a Região (°C)

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	30.7	29.6	31.3	32.6	23.8	18.8	26.2	25.9	21.3	30.9	32.6	28.3
2	30.5	31.7	33.0	31.7	28.2	20.2	27.7	22.9	20.7	33.4	23.2	29.5
3	31.0	24.5	31.6	29.2	20.8	22.7	19.2	23.6	24.1	34.9	29.0	31.7
4	30.2	28.3	29.9	27.3	23.5	20.5	23.9	23.7	23.5	27.0	30.1	26.0
5	31.1	31.2	30.8	30.0	24.9	27.0	26.8	23.8	23.6	25.3	31.0	29.2
6	30.9	32.2	27.7	30.3	18.3	27.9	25.9	26.0	25.6	25.6	31.2	31.2
7	33.8	32.3	30.4	30.9	22.2	27.0	26.4	28.3	27.4	28.2	31.9	31.5
8	32.4	31.5	29.8	33.9	20.7	23.5	27.8	30.0	20.4	31.4	31.4	34.2
9	32.4	31.3	28.8	34.1	22.7	27.4	23.0	21.0	26.9	34.1	29.4	34.0
10	33.2	33.3	30.1	33.1	20.1	28.0	23.7	19.6	29.7	24.1	31.1	35.9
11	31.3	34.0	29.3	32.6	23.9	21.2	11.0	17.6	31.0	29.1	27.2	
12	31.3	33.0	30.2	30.0	25.5	17.0	9.6	20.5	23.6	33.7	24.4	28.5
13	26.6	32.8	29.7	27.9	26.7	26.9	10.1	23.3	21.2	25.4	26.4	25.7
14	31.1	24.1	30.8	32.0	27.3	28.4	18.4	28.2	20.6	21.8	29.0	28.1
15	28.6	26.1	30.4	32.0	26.3	28.6	14.8	24.5	15.5	26.4	22.1	30.8
16	33.4	26.7	29.4	28.6	21.8	20.6	12.0	25.4	17.3	27.2	27.7	25.3
17	33.7	28.7	32.1	23.6	15.3	20.8	13.8	17.5	24.6	22.2	30.3	27.8
18	35.3	29.6	30.3	21.8	18.1	16.1	16.7	26.2	31.7	31.8	30.6	29.3
19	34.2	29.9	32.4	21.0	21.6	12.5	15.8	29.2	33.1	34.5	32.4	32.2
20	33.7	32.0	31.7	18.7	23.7	15.7	16.7	30.1	32.5	27.0	30.0	32.0
21	34.0	24.8	30.8	23.2	23.7	16.6	22.5	31.5	33.9	33.4	26.3	33.4
22	34.8	28.4	31.1	24.8	24.0	21.7	18.5	33.2	22.3	34.8	31.5	25.0
23	35.1	31.0	29.0	28.6	24.2	23.8	13.2	32.4	25.8	26.3	33.0	31.5
24	33.8	31.7	28.7	28.3	26.4	27.7	17.7	33.6	21.1	25.4	29.9	29.6
25	28.8	31.9	29.3	28.9	27.8	28.4	21.4	32.5	18.1	26.6	29.7	32.0
26	29.6	32.2	31.3	26.6	23.6	26.2	24.0	25.4	22.2	28.6	31.3	34.4
27	30.6	32.1	32.1	29.9	20.3	27.2	25.8	20.2	26.1	25.6	32.8	32.1
28	29.5	26.6	24.1	26.4	20.0	28.1	26.1	23.2	28.6	27.6	33.3	27.2
29	31.2	31.6	27.8	29.4	21.6	25.4	27.5	24.5	30.9	30.0	25.3	29.5
30	31.7		29.5	30.1	20.5	20.1	23.2	27.7	30.6	30.1	28.1	27.7
31	29.0		31.0		19.9		19.6	21.8		33.3		31.4

Fonte: Instituto Tecnológico Simepar. Estações: Salto Osório/Quedas do Iguaçu